Н. А. БЫКОВ
НАЧАЛЬНИК СЕРИЙНО-КОМСОМОЛЬСКОГО ЦЕХА ЗАВ. „ЭЛЕКТРОСИЛА“

ЗА ОВЛАДЕНИЕ ТЕХНИКОЙ ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИЯ

НКТП СССР
УДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
НИНГРАД 1933 МОСКВА

I. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ОЧЕРЕДНЫЕ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИЯ.

Бурный рост промышленности Советского союза в первой пятилетке и намечаемое развитие народного хозяйства во второй пятилетке (см. материалы XVII Всесоюзной партконференции) сопровождаются гигантским развитием машиностроения, ибо без механизации производственных процессов, без широчайшей электрификации невозможно разрешить современные задачи социалистического строительства. Электрификация Советского союза в свою очередь определяет темпы развития электротехнической промышленности и в частности электромашиностроительной промышленности. За прошедшие годы советское электромашиностроение разрешило огромной важности хозяйственно-политические задачи, овладевая капиталистической техникой и перегоняя ее по отдельным участкам. Известно, что в России до Октябрьской революции электромашиностроения почти не было, и сводилось оно к тому, что существующие немногочисленные заводы того времени были по сути дела сборочными мастерскими заграничных фирм (например AEG, Siemens-Schuckert'а и др.); только после Октябрьской революции электромашиностроение начало развиваться как самостоятельная отрасль общего машиностроения. Было изучено и поставлено производство турбинных генераторов, начиная с мощности 500 kW и кончая 24 000 и 50 000 kW. Были выпущены первые гидрогенераторы для Волховской электростанции: четыре по 8750 kW, 11 000 V, 75 об/мин и два по 1250 kW на 150 об/мин, а в скором времени заводом „Электросила" будут выпущены днепровские гидрогенераторы, по мощности и своим размерам (62,5 тыс. kW) во много раз превышающие волховские. Для черной металлургии электромашиностроение дает электроприводы в исполнении агрегатов Леонарда-Ильгнера, крупные (около 2000 л. с.) асинхронные двигатели и т. д. За это время налажено массовое производство нормальных

машин переменного и постоянного тока. Велики наши достижения, и мы можем гордиться ими, но есть на ряду с достижениями и большие минусы в работе электромашиностроения.

Предстоящие задачи еще более сложны. Мы находимся на пороге второй пятилетки. В течение второй пятилетки согласно директивам XVII Всесоюзной партконференции электрификация должна расти значительно быстрее, чем в первой

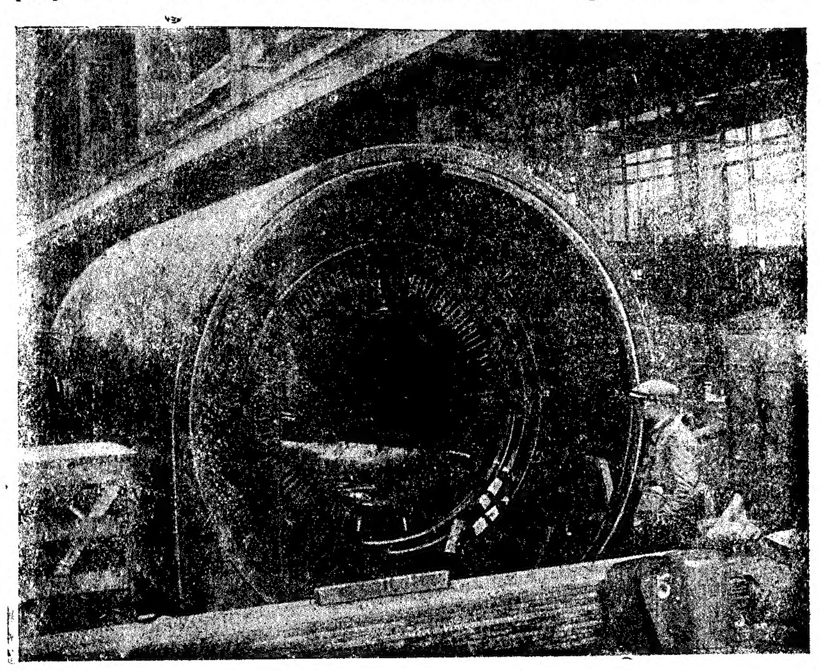


Рис. 1. Статор 50-тысячного турбогенератора.

пятилетке. Соответственно этому электромашиностроение должно быть готовым к обепечению плана электрификации. В самом деле, чтобы довести производство электроэнергии в 1937 г. до 100 млрд. kWh, необходимо повысить мощность установленных на всех электрических станциях Союза генераторов до 22—25 млн. kW. Для лучшего понимания указанной цифры условно представим себе, что все генераторы будут мощностью в 50 тыс. kW (рис. 1). Для этого потребовалось бы в 1937 г. 400—500 таких генераторов,

в то время как мы теперь их выпускаем единицами в год (производство столь мощных генераторов в настоящее время усвоивает завод „Электросила"), да и то пока не полностью на своих заводах, а также лишь единицы установили на центральных электростанциях (ЦЭС). Далее, конечно, при производстве 100 млрд. kWh в год потребление будет также равным производству, а следовательно, если установленная мощность генераторов будет равна 22—25 млн. kWh, то установленная мощность потребителей будет не меньше. В настоящее время самый большой процент расхода электроэнергии падает на промышленность и главным образом на электродвигатели. Поэтому установленная мощность двигателей будет не только не меньше 25 млн. kWh, но на самом деле она будет в несколько раз больше благодаря меньшему коэфициенту использования двигателей в промышленности, а следовательно потребуются тысячи различных типов и мощностей электродвигателей.

Все это должно дать советское электромашиностроение совместно с остальными отраслями промышленности. Разрешение количественных задач потребует разрешения и организационно-технических. Из технических задач наиболее крупными являются: производство на своих заводах полностью из своих материалов мощных турбогидрогенераторов в 50 тыс. kW и более, специальных агрегатов и отдельных электродвигателей к прокатным станам металлургических заводов СССР, производство электромашин для электрифицируемых железных дорог, двигателей для станков (фланцмоторы) и т. п. Мы должны при этом усовершенствовать все электрические машины, облегчить их и повысить их эксплоатационную надежность. В области изоляции предстоят не меньшие задачи: основать и наладить производство новых изоляционных материалов, а также усвоить новые технологические процессы в изоляции машин (эцетил-целлюлоза, непрерывная изоляция и т. п.). Но не только в этом будет состоять решение всех проблем электромашиностроения. Все кратко указанные выше задачи могут быть разрешены только в том случае, если **организация производства электромашиностроения будет переведена на более высокую ступень.** При существующей организации производства разрешение таких грандиозных количественных и технических задач потребует большого напряжения, и они не смогут быть разрешены с экономической стороны. Основное: мы не должны

забывать нашего лозунга — лозунга нашей партии — не только догнать, но и перегнать в технико-экономическом отношении передовые капиталистические страны. Поэтому именно в отношении техники организации производства мы должны пойти дальше, ибо наше хозяйство плановое, социалистическое, и организация производства должна быть иная, нежели на капиталистических предприятиях.

Однако в настоящее время организация производства на наших электромашиностроительных заводах, нужно прямо сказать, не только отстает от лучших капиталистических предприятий, но нередко находится на самом низком уровне. За исключением мелкого электромашиностроения производство электромашин идет по индивидуальным заказам с характерными чертами индивидуального и мелкосерийного производства. Сама техника производства очень примитивна и во многих случаях кустарна. Очень большое количество работ в электромашиностроении выполняется теперь еще вручную без достаточно хороших приспособлений, инструмента и т. п. Технологический процесс, расстановка оборудования, связь между цехами, транспорт, коэфициент использования оборудования и рабсилы, состояние технического планирования и многое другое, характеризующее степень рационализации производства, находится на весьма низкой ступени развития. Но наряду с этим в электромашиностроении имеются примеры прекрасного усвоения новых технологических процессов, например электросварки с переходом на сварные конструкции и др. Причины такого положения зависят не только от электромашиностроения, но в значительной степени от развития и состояния техники в других отраслях промышленности и от общего прогресса страны.

Разрешить поставленную задачу трудно, но вполне возможно в наших условиях, и мы в дальнейшем остановимся на этих вопросах. Такова краткая программа советского электромашиностроения на ближайшее время.

II. ПРИМЕНЕНИЕ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА.

Разбирать вопросы, связанные с производством всех существующих электрических машин, было бы весьма трудно; это и не входит в задачу предлагаемой книги, в которой разбираются асинхронные электродвигатели трехфазного

тока. Асинхронные двигатели трехфазного тока за последнее время широко применяются во всех без исключения отраслях промышленности и даже вытесняют другие типы двигателей, например постоянного тока, благодаря своим преимуществам. Остановимся кратко на основных достоинствах трехфазных двигателей. Они сводятся к следующему:

a) Асинхронные трехфазные двигатели очень просты по своему устройству и не требуют особого ухода за ними при эксплоатации (отсутствие коллектора, как в двигателе постоянного тока; отсутствие специальных пусковых устройств и пр.).

b) Эти двигатели могут быть выполнены на практически достаточную любую мощность при различных числах оборотов и притом с большой эксплоатационной надежностью.

c) Трехфазные двигатели, питаемые переменным трехфазным током, могут быть построены на любое напряжение, начиная от 120 и до 11 000 V включительно, чего нельзя получить при той же стоимости двигателя и стоимости эксплоатации у других типов электродвигателей, например постоянного тока.

Но самое основное, почему трехфазные двигатели получили широкое распространение в промышленности, объясняется тем, что на всех современных станциях производится трехфазный переменный ток, имеющий несравнимые преимущества перед другими системами тока.

В настоящее время на центральных районных электростанциях устанавливаются генераторы только трехфазного тока, так как только они дают возможность получать электроэнергию, измеряемую сотнями тысяч киловатт, и передавать ее на сотни километров от станции путем преобразования на высокое напряжение. Высокое же напряжение (110 000 и 200 000 V) позволяет получить большие экономические результаты при передачах энергии по сравнению с низким напряжением, что в свою очередь позволяет использовать источники энергии (уголь, торф, „белый уголь" — вода), удаленные от промышленных центров. Следовательно питание трехфазным током экономично, а потому двигатели, работающие на этом токе, выгодно эксплоатировать. Все это объясняет широкое распространение трехфазных двигателей.

Выше мы говорили о потребном количестве двигателей; при этом имелись в виду именно трехфазные асинхронные двигатели (в дальнейшем будем их называть просто двигателями). За последнее время производство двигателей

трехфазного тока приняло массовый характер, и поэтому даже незначительные улучшения таковых в расчете, в конструкции и в производстве дают серьезные экономические эффекты. Особенно нужно сосредоточить внимание на технике производства этих двигателей, так как организация и техника производства, как указывалось выше, находятся у нас на низком уровне.

III. ОСНОВНЫЕ УСЛОВИЯ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ТРЕХФАЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.

Основными условиями внедрения современной техники в производство двигателей средней и большой мощности (от 100 kW и выше) являются:

широкое проведение стандартизации электродвигателей трехфазного тока в отношении типов, исполнений, мощностей, напряжений и т. д.;

специализация отдельных заводов и производств сообразно имеющемуся оборудованию;

рациональный расчет и современная конструкция двигателей в отношении использования активных и неактивных материалов;

типизация производства, т. е. производство отдельными заводами ограниченного числа типов машин;

проведение широкой нормализации в производстве отдельных частей, размеров двигателей и т. п.;

правильная постановка технического планирования производства, учитывающего техническую подготовку, снабжение и календарный план выполнения заказов и деталей.

Рассмотрим эти пункты.

а) Стандартизация двигателей трехфазного тока.

Известно, что современная техника отличается тем, что в любой отрасли промышленности широко разработаны стандарты на различные изделия, предметы, пределы мощностей машин, габаритов и т. д. Расцвет американской промышленности, в частности автомобильной, в значительной степени объясняется тем, что широко проведенная стандартизация обеспечила производству переход от индивидуального и мелкосерийного производства к массовому и массово-поточному, что дало резкое снижение себестоимости. В настоящее время редко можно найти изделия, предметы и т. п., которые были бы не стандартизованы.

Стандартизование двигателей означает обязательное выполнение установленных пределов мощностей коэфициентов полезного действия, коэфициентов мощностей, типов электродвигателей, условий их применения в различных случаях, их габаритные размеры и веса и другие данные. У нас стандарт является государственной нормой, подлежащей безусловному выполнению.

От стандартизации зависят: специализация заводов, типизация производства, нормализация, иначе говоря — рационализация производства и промышленности. Широкой стандартизации в электромашиностроении (также и по трехфазным двигателям) у нас до сих пор нет, что в значительной степени является причиной низкого уровня организации производства (индивидуальное, мелкосерийное) и отсутствия надлежащей специализации заводов и типизации производства.

За границей, в частности в Германии, имеются нормы для некоторых данных двигателей, которых и придерживаются при производстве и выборе для эксплоатации.

Эти нормы разрабатываются Союзом германских электротехников. У нас, в СССР, существует Отдел стандартизации при СТО, который устанавливает стандарты.

В настоящее время существуют стандарты только на открытые двигатели с контактными кольцами и короткозамкнутым ротором и то для некоторого предела мощностей: для фазных (с контактными кольцами) до 300 kW или 408 л. с. и для короткозамкнутых до 100 kW или 136 л. с. Указанные стандарты приводим в качестве иллюстрации (см. таблицы 1 и 2). Современное развитие техники не может удовлетвориться указанными нормами по следующим причинам. Возьмем например короткозамкнутые двигатели. Предел мощности в 100 kW является низким и должен быть увеличен, так как увеличение мощностей районных электрических станций, кольцевание их, т. е. включение на параллельную работу нескольких станций, дает значительное увеличение мощности в сетях (в передачах электрической энергии) что в свою очередь допускает безболезненное повышение мощности короткозамкнутых двигателей, ибо толчки тока при пуске короткозамкнутых двигателей в ход не могут быть опасными для сети.

Применение же короткозамкнутых двигателей благодаря простоте их устройства и лучшим коэфициентам мощностей дает большие экономические выгоды как для производства, так и для эксплоатации.

Таблица 1.

Электродвигатели асинхронные трехфазного тока по общесоюзному стандарту ОСТ 678, тип двигателей открытый, ротор короткозамкнутый, частота тока 50 пер/сек.

Номинальная мощность электродвигателя		Коэфициент полезного действия при номинальной мощности. Синхронное число оборотов в минуту					$\cos\varphi$ при номинальной мощности. Синхронное число оборотов в минуту					Номинальное напряжение статора в V при рабочем соединении обмоток статора							Миним. воздушн. зазор в *мм* при синхроном числе оборотов в мин.		Отношение макс. пускового тока к номин. для электродв. с синхронным числом обор.	
kW	л. с. приблизит.	3000	1500	1000	750	600	3000	1500	1000	750	600	В звезду Y			В треугольник Δ				3000	1500 1000 750 600	3000 1500 1000	750 600
0,1	0,14	0,67	0,68	—	—	—	0,75	0,69	—	—	—	220	380	—	127	—	—	—	0,3	0,2		
0,25	0,34	0,71	0,72	—	—	—	0,80	0,74	—	—	—	220	380	—	127	—	—	—	0,3	0,2[illegible]	6,5	5,5
0,52	0,7	0,76	0,77	0,75	—	—	0,84	0,78	0,73	—	—	220	380	—	127	—	—	—	0,35	0,25		
1,0	1,35	0,796	0,805	0,79	—	—	0,86	0,81	0,75	—	—	220	380	—	127	—	—	—	0,4	0,3		
1,75	2,4	0,82	0,83	0,815	—	—	0,87	0,84	0,79	—	—	220	380	—	127	—	—	—	0,4	0,3		
2,85	3,9	0,84	0,845	0,835	—	—	0,88	0,85	0,8	—	—	220	380	500	127	220	380	—	0,45	0,35		
4,5	6,1	0,85	0,86	0,85	0,83	—	0,89	0,86	0,81	0,7[illegible]	—	220	380	500	127	220	380	—	0,5[illegible]	0,40		
6,8	9,3	0,86	0,865	0,855	0,84	—	0,89	0,87	0,82	0,81	—	220	380	500	127	220	380	—	0,6	0,45	7	6
10	13,6	0,87	0,87	0,86	0,85	—	0,89	0,87	0,83	0,82	—	220	380	500	127	220	380	—	0,6	0,45		
14,5	19,7	0,88	0,88	0,87	0,86	—	0,89	0,87	0,83	0,83	—	220	380	500	127	220	380	—	0,7	0,5		
20,5	28	0,89	0,885	0,88	0,87	—	0,9	0,88	0,84	0,84	—	220	380	500	127	220	380	—	0,8	0,55		
29	39,5	0,9	0,895	0,885	0,88	—	0,9	0,89	0,85	0,85	—	220	380	500	127	220	380	—	0,9	0,6		
40	54,5	0,905	0,90	0,895	0,89	0,885	0,91	0,89	0,86	0,86	0,83	220	380	500	127	220	380	—	0,9	0,6		
55	75	0,91	0,91	0,905	0,90	0,895	0,91	0,9	0,87	0,86	0,84	220	380	500	127	220	380	500	1	0,7	7,5	6,5
75	102	0,915	0,915	0,91	0,905	0,90	0,91	0,9	0,88	0,87	0,85	220	380	500	127	220	380	500	1	0,7		
100	136	0,92	0,92	0,915	0,91	0,905	0,92	0,9	0,88	0,87	0,85	220	380	500	127	220	380	500	1,2	0,8		

Таблица 2.

Электродвигатели асинхронные трехфазного тока открытые с контактными кольцами.

Номинальная мощность электродвигателей		Коэфициент полезного действия при номинальной мощности. Синхронное число оборотов в минуту					cos φ при номинальной мощности. Синхронное число оборотов в минуту					Номинальное напряжение статора в V при рабочем соединении обмоток статора							Миним. воздушн. зазор в *мм* при синхронном числе оборотов в мин.		Номинальное напряжение между контактными кольцами ротора в V
kW	л. с. приблизит.	3000	1500	1000	750	600	3000	1500	1000	750	600	В звезду Y			В треугольник Δ				3000	1500 1000 750 600	
1,75	2,4	—	—	0,7	—	—	—	—	0,74	—	—	220	380		127	220	—	—	—	0,3	не более 200
2,85	3,9	—	0,83	0,81	—	—	—	0,82	0,77	—	—	220	380	500	127	220	—	—	—	0,35	
4,5	6,1	—	0,845	0,83	0,83	—	—	0,84	0,79	0,77	—	220	380	500	127	220	—	—	—	0,4	
6,8	9,3	—	0,855	0,855	0,84	—	—	0,85	0,81	0,79	—	220	380	500	127	220	—	—	—	0,45	
10	13,6	—	0,87	0,86	0,85	—	—	0,86	0,8[illegible]	0,81	—	220	380	500	127	220	—	—	—	0,45	не более 360
14,5	19,7	0,88	0,88	0,87	0,86	—	0,89	0,87	0,84	0,83	—	220	380	500	127	220	—	—	0,7	0,5	
20,5	28	0,89	0,885	0,88	0,87	—	0,9	0,88	0,85	0,84	—	220	380	500	127	220	—	—	0,8	0,55	
29	39,5	0,9	0,895	0,885	0,88	—	0,9	0,88	0,86	0,85	—	220	380	500	127	220	380	—	0,9	0,6	
40	54,5	0,905	0,9	0,895	0,89	0,885	0,91	0,89	0,87	0,86	0,83	220	380	500	127	220	380	—	0,9	0,6	
55	75	0,91	0,91	0,905	0,9	0,895	0,91	0,9	0,88	0,86	0,84	220	380	500	127	220	380	500	1	0,7	
75	102	0,915	0,915	0,91	0,905	0,9	0,91	0,9	0,88	0,87	0,85	220	380	500	127	220	380	500	1	0,7	
100	136	0,92	0,92	0,915	0,91	0,905	0,92	0,9	0,88	0,87	0,85	220	380	500	127	220	380	500	1,2	0,8	
132	180	0,925	0,925	0,92	0,915	0,915	0,92	0,91	0,89	0,88	0,86	220	380	500	127	220	380	500	1,2	0,8	будет установлено дополнит.
175	239	0,93	0,93	0,925	0,92	0,92	0,92	0,91	0,89	0,88	0,86	—	380	500	—	220	380	500	1,3	0,9	
230	313	0,935	0,935	0,93	0,925	0,925	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	—	380	500	—	220	380	500	1,3	0,9	
300	408	0,936	0,935	0,93	0,93	0,93	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	—	380	500	—	220	380	500	1,5	1	

Двигатели с фазными роторами в настоящее время строятся на значительно большую мощность (1000 kW и выше), не охватываемую нормами.

Особенно важно подчеркнуть, что в имеющихся стандартных нормах для открытых двигателей совершенно отсутствуют веса. Благодаря этому заводы не имеют нормированного задания по двигателям, а следовательно не может быть и стимула к снижению веса двигателей, т. е. в конечном счете к уменьшению расхода активных и неактивных материалов. Вследствие этого оказывается, что немногочисленные в Союзе заводы электромашиностроения выполняют одинаковые электродвигатели с различными весами.

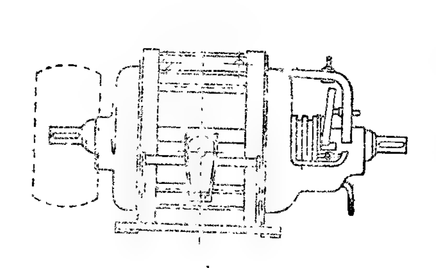


Рис. 2. Открытый двигатель типа АТ 13.

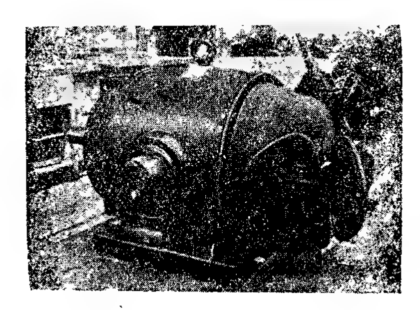


Рис. 3. Тип PRV 246 завода „Электросила".

Но главное в том, что применение открытых двигателей ограничено условиями их работы, и в настоящее время больше не применяются защищенные и закрытые типы двигателей, в особенности до 300 kW, которые совершенно не стандартизованы. Между прочим слабое применение открытых двигателей, в значительной степени объясняемое желанием обезопасить установку применением защищенных и закрытых двигателей, иногда не совсем правильно. К тому же в нормах не установлено, какие электродвигатели к каким станкам, агрегатам, механизмам и в каких отраслях промышленности (угольной, торфяной и т. п.) применимы. Для иллюстрации приводим на рис. 2, 3, 4, 5, 6 и 7 различные типы двигателей, а также объяснения к ним согласно стандарным нормам.

1. В открытом двигателе вращающиеся части (ротор), невращающиеся (статор) и выводы тока не закрыты, и к ним имеется свободный доступ.

В открытом двигателе охлаждение происходит за счет отдачи тепла частями поверхности двигателя, более нагретыми, чем окружающий воздух.

2. В закрытом двигателе все части закрыты специальными приспособлениями против попадания пыли, посторонних тел, влаги и т. п.

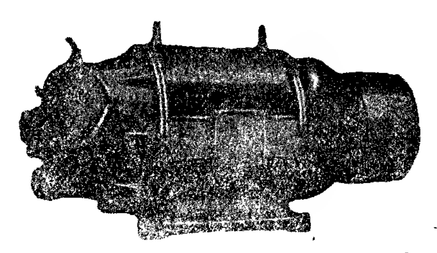


Рис. 4. Закрытый тип двигателя AEG с поверхностным охлаждением.

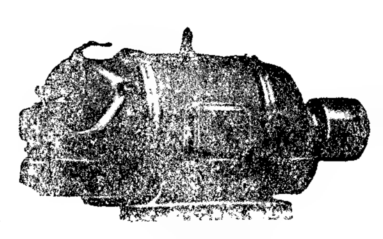


Рис. 5. Закрытый вентилируемый тип двигателя AEG.

В закрытом типе применяется посторонняя вентиляция или, как ее иначе называют, независимая, т. е. воздух нагнетается в двигатель от постороннего вентилятора или установки, или от вентилятора, сидящего на валу двигателя,

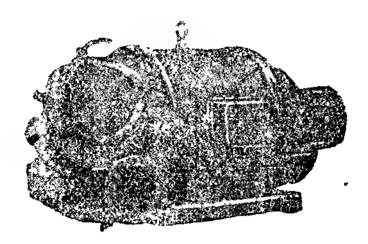


Рис. 6. Закрытый вентилируемый тип двигателя AEG с подводом воздуха.

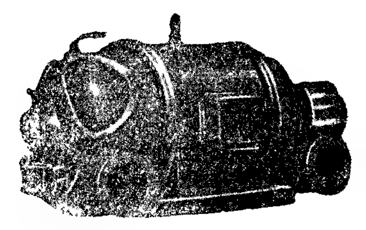


Рис. 7. Закрытый вентилируемый тип двигателя AEG с подводом и отводом охлаждающего воздуха.

который засасывает холодный воздух и прогоняет его по специальным охладительным (вентиляционным) каналам.

3. Защищенные двигатели — промежуточные между закрытыми и открытыми с каким-либо специальным защитным приспособлением.

Отсюда ясно, что не каждый двигатель может одинаково работать в различных условиях. Например открытый тип не может работать там, где в двигатель могут попасть посто-

ронние предметы, где много пыли, а также в воздухе, насыщенном парами кислот, и т. п. Поэтому если двигатель будет выбран неправильно, то это может повести к аварии. Но, с другой стороны, если вместо открытого двигателя поставить закрытый (что часто можно видеть), то стоимость установки и эксплоатации будет совершенно напрасно удорожена, так как закрытый тип двигателя той же мощности, что и открытый, тяжелее и дороже (рис. 8).

В силу этих причин, а также потому, что выбор и условия применения не ограничены никакими стандартными нормами, со стороны заказчиков, эксплоататоров двигателей, к электромашиностроительным заводам поступают требования (зачастую не обоснованные) на большое количество различных исполнений двигателей, что и ведет к работе электромашиностроительных заводов по единичным заказам, т. е. к индивидуальному производству, не могущему дать правильной организации производства и его рационализации.

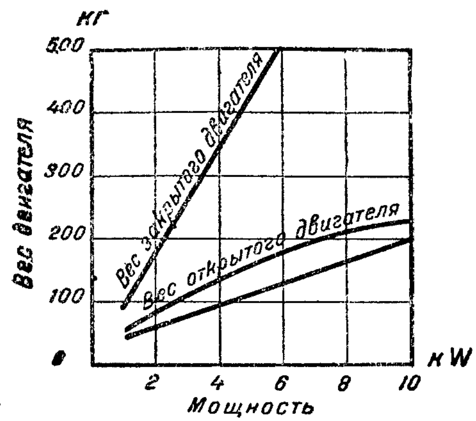


Рис. 8. Кривые веса открытых и закрытых двигателей.

Напряжения двигателей для различных мощностей и типов также полностью не стандартизованы. В стандартных нормах для трехфазных двигателей не имеется 3000 и 6000 V, тогда как в настоящее время по условиям экономичности установки и эксплоатации очень большое количество двигателей, в особенности двигатели свыше 100 kW, выполняются именно на 3000 V и выше.

Вопрос стандартизации двигателей должен быть разрешен, ибо только широкая стандартизация производства и правильная эксплоатация электродвигателей позволит поднять электромашиностроение на высшую ступень современной техники. Отказ от немедленного разрешения всей проблемы стандартизации в электромашиностроении означает отсутствие желания овладеть новой техникой и экономичностью двигателей в производстве и эксплоатации.

б) Специализация заводов электромашиностроения.

Вопрос о специализации заводов является старым вопросом, который однако в СССР, по нашему мнению, еще до сих пор полностью не разрешен.

Под специализацией завода понимается ограничение в ассортименте продукции производства данного завода на основе разработанных и принятых союзных стандартов. У нас в должной мере нет ни того, ни другого. Примером может служить завод „Электросила", где еще и теперь, с одной стороны — можно видеть большое количество типов электрических машин постоянного и переменного тока, генераторов и агрегатов, с широким пределом мощностей, а с другой стороны—оборудование завода неизменное и определенных размеров, не могущее при этих условиях правильно использоваться. Этим в значительной степени объясняется большое количество простоя оборудования, загроможденность деталями и значительность незавершенного производства, доходящее до двух-, трехкратного выпуска готовой продукции. Потери, которые несет народное хозяйство от этого, еще не подсчитаны, и их трудно будет подсчитать, но они безусловно при наших масштабах производства и при наших темпах весьма значительны.

В отношении специализации в последнее время намечаются сдвиги, в частности по двигателям. Например ВЭО (см. Бюллетень электропромышленности, 1—2) при введении нового типа асинхронных трехфазных двигателей (АТ) распределило их производство по заводам следующим образом:

„Электросила":	при	500	об/мин	от	0,65	до	4,5	kW,
	„	1000	„	„	0,85	„	2,8	kW,
„Лепсе":	„	1500	„	„	6,0	„	12,0	kW,
	„	1000	„	„	3,0	„	8,5	kW,
	„	750	„	„	4,5	„	5,8	kW,
„ХЭМЗ":	„	1500	„	„	14,5	„	100	kW,
	„	1000	„	„	10,5	„	70	kW,
	„	750	„	„	7,5	„	52	kW,
	„	600	„	„	12	„	40	kW,
	„	500	„	„	7,8	„	29	kW,

Специализация заводов электромашиностроения является основной и главной предпосылкой для типизации производства.

в) Новые типы двигателей трехфазного тока, принципы их расчета и конструкции.

Любая машина характеризуется с точки зрения ее совершенства некоторыми основными величинами. Например для двигателей внутреннего сгорания—расходом горючего на 1 л.с. при определенном весе этого двигателя. Для электродвигателя и вообще для электрической машины характерен расход активных материалов (динамное железо статора и ротора, медь статора и ротора) на 1 kW мощности, а также общий вес двигателя на 1 kW мощности. Чем больше расход материалов, тем меньше их использование, и менее совершенен двигатель при прочих равных условиях. В электрических машинах идет борьба главным образом за уменьшение веса активных материалов, наиболее дорогих и в то же время составляющих основной вес машин. Поэтому при расчете электродвигателей стараются допустить большие нагрузки активных материалов, но при этом, конечно, не нужно забывать и производственной экономичности двигателя, а также его эксплоатационной экономичности и надежности. Эти факторы при расчете становятся в противоречие, и представляется труднейшей задачей найти золотую середину. Как это достигается, увидим ниже на конкретных примерах новых типов двигателей.

Мощность двигателя обусловлена следующими основными величинами.

Двигатель является механизмом, преобразующим электрическую энергию в механическую. Известно, что при любых преобразованиях энергии часть ее затрачивается на потери.

В двигателе эти потери следующие:

1) При работе двигателя по обмотке статора проходит питающий ток. При этом происходит нагревание проводников обмотки статора. Это нагревание происходит за счет электрической энергии, подводимой к статору. 2) При прохождении тока по обмотке статора катушки статора создают вращающееся магнитное поле. Силовые магнитные линии этого поля, проходя главным образом по железу статора и ротора, нагревают железо благодаря магнитным потерям в нем. 3) Электрический ток в обмотке ротора нагревает проводники обмотки. 4) При вращении двигателя происходит трение шеек вала ротора о втулки или вкладыши подшипника. 5) Для охлаждения на валу ротора насажен вентилятор, на

вращение которого также тратится энергия. Все эти потери на нагрев, трение, вращение вентилятора и др. покрываются за счет электрической энергии, подводимой к статору. В результате мощность на валу двигателя оказывается меньшей, чем мощность, подводимая к статору.

Поэтому, если назвать через P_2 полезную мощность, т. е. снимаемую с вала двигателя, а P_1 — подводимую к двигателю мощность, то P_2 будет меньше P_1; отношение же полезной мощности двигателя к подводимой называется коэфициентом полезного действия двигателя, который обозначим через

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}. \quad (1)$$

Понятно, чем меньше будут потери в двигателе, тем меньше будет P_2 отличаться от P_1, а следовательно коэфициент полезного действия η будет больше.

Коэфициент полезного действия (к. п. д.) для двигателей трехфазного тока изменяется примерно от 0,7 до 0,95. Меньший к. п. д. будет для двигателей малой мощности. Подведенная к двигателю мощность может быть найдена по следующей формуле:

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi. \quad (2)$$

В этой формуле V — напряжение на зажимах статора в вольтах, I — сила тока в подводящих проводах в амперах, $\cos\varphi$ — коэфициент мощности.

Коэфициент мощности ($\cos\varphi$) характеризует собой электромагнитные процессы, происходящие в двигателе при питании переменным током. Поясним это. Подведем к зажимам катушки *1* (рис. 9) постоянный ток, т. е. такой ток, который не меняет с течением времени ни своей величины, ни направления (рис. 10). Ток, проходя по катушке *1*, будет создавать вокруг нее магнитное поле, которое, как и ток, будет постоянным, не изменяющим своей величины и направления. Ток в катушке *2* индуктироваться (наводиться) не будет, так как вследствие постоянства поля катушка *2* не будет перерезываться силовыми линиями магнитного поля. Мощность, которая тратится в катушке *1* и переходит в тепло, может быть выражена формулой:

$$W = V \cdot i. \quad (3)$$

Сила тока, проходящего через катушку 1, может быть найдена по формуле:

$$i = \frac{V}{r}, \tag{4}$$

где r — сопротивление катушки 1.

Сопротивление катушки 1 зависит исключительно от длины проводника, образующего катушку, его сечения и электропроводности материала.

Если же пропускать через катушку 1 переменный ток (рис. 11), то катушка 2 будет перерезываться силовыми линиями переменного поля, возникшего под влиянием переменного тока катушки 1, и в ней будет индуктироваться ток. Таким образом при переменном токе в тех же катушках происходят иные явления, чем то было при постоянном

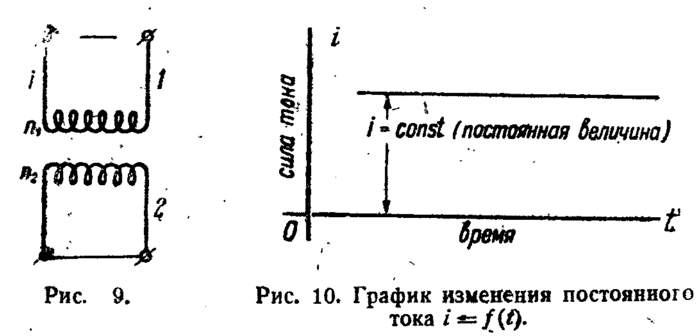


Рис. 9.

Рис. 10. График изменения постоянного тока $i = f(t)$.

токе. В этом случае силу тока уже нельзя выразить формулой (4). Она будет другой и будет зависеть не только от напряжения V и сопротивления r, но и от числа витков n_1 и n_2 катушек, от их взаимного расположения и других величин.

На графике рис. 11 нанесены результаты измерения изменения силы тока в зависимости от напряжения с течением времени. Когда напряжение, изменяясь, становится максимальным (наибольшим), сила тока будет несколько меньше своего наибольшего значения. Следовательно если бы захотели найти мощность в этот момент, то ее уже нельзя выразить как произведение силы тока I и напряжения V, а нужно было бы еще умножить на некоторый коэфициент, учитывающий несовпадение максимумов (а также и минимумов) этих величин. Этот коэфициент и назы-

вается коэфициентом мощности $\cos\varphi$. Следовательно в этом случае мощность будет:

$$W = V \cdot I \cdot \cos\varphi. \tag{5}$$

Таким образом коэфициент мощности характеризует отставание во времени силы тока от напряжения. Если коэфициент мощности ($\cos\varphi$) равен единице, то это значит, что сила тока достигает своего наибольшего значения одновременно с напряжением (графически это представлено на рис. 12), а следовательно и мощность достигает максимального значения.

Трехфазный двигатель подобен в этом отношении катушкам рис. 9, питаемым переменным током, и поэтому

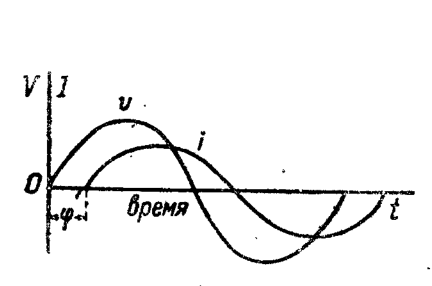


Рис. 11. График изменения переменного тока и напряжения $i = f(t)$ и $V = f(t)$ при $\cos\varphi = 1$.

Рис. 12. График изменения переменного тока $i = f(t)$ и $V = f(t)$ при $\cos\varphi = 1$, $\varphi = 0$.

в формуле для мощности двигателя введен коэфициент мощности $\cos\varphi$ [формула (2)].

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi.$$

Следовательно полезную мощность P_2 можно теперь выразить еще так из формул (1) и (2):

$$P_2 = \eta P_1 = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \eta \cdot \cos\varphi. \tag{6}$$

В формуле (6) P_2 получаем в ваттах или киловаттах. Если хотим полезную мощность выражать в лошадиных силах, то это выражение нужно разделить на 736:

$$P_2 = \frac{\sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \eta \cdot \cos\varphi}{736}. \tag{7}$$

Путем целого ряда преобразований можно в формулу 7) подставить величины, характеризующие размеры двигателя, и загрузку активных материалов. Окончательно получим следующее выражение мощности двигателя в лошадиных силах:

$$P_2 = \frac{D^2 \cdot l \cdot n \cdot B \cdot (AS) \cdot \eta \cdot \cos\varphi}{6{,}55 \cdot 10^{-11}}. \qquad (8)$$

Формула (8) является основной формулой, связывающей величины, которые определяют мощность двигателя.

Величины, входящие в формулу (8), имеют следующее значение:

D — диаметр расточки статора в сантиметрах,
l — осевая длина статора по железу в сантиметрах,
n — число оборотов двигателя в минуту,
B — магнитная индукция в воздушном зазоре,
AS — линейная нагрузка проводников обмотки статора током — амперы на один сантиметр (эта величина зависит от числа проводников одной фазы и силы тока в фазе),
η — коэфициент полезного действия двигателя,
$\cos\varphi$ — коэфициент мощности двигателя,
$6{,}55 \cdot 10^{-11}$ — численный коэфициент.

Выбором этих величин определяется использование активных материалов, до некоторой степени конструкция двигателя и некоторые производственные моменты. Современные методы расчета двигателей, рациональным выбором значений отдельных величин создали такие типы двигателей, которые имеют большие производственные преимущества.

Из формулы (8) видно, что при увеличении любой из этих величин мощность двигателя будет увеличиваться.

Наперед задаются: мощность двигателя в лошадиных силах, число оборотов и исполнение (открытый тип, закрытый или защищенный). Последнее указывает, в каких условиях будет работать двигатель, и это учитывается при выборе остальных величин. Следовательно в формуле (8) P_2 и n задаются.

Если B (индукция в воздухе) взять слишком большой, больше например 7500 единиц, то будут большие потери в железе, что уменьшит коэфициент полезного действия; последнее допустимо до известных пределов (0,7—0,9).

AS — линейную нагрузку — нельзя также брать какой угодно, ибо эта величина определяет нагрев машины, т. е. потери в меди статора. AS выбирается до 400 А*см*/, иногда немного больше. Например при $AS = 1000$ А/*см*, получатся большие потери в меди статора, вследствие чего происходит чрезмерно большой нагрев обмотки статора и железа. Пришлось бы усиленно охлаждать двигатель, но это также достижимо до определенных пределов.

Коэфициент мощности cos φ зависит от величины воздушного зазора и тем больше, чем меньше зазор. Но уменьшать зазор по конструктивным соображениям и устойчивости (надежности) работы двигателя беспредельно нельзя, и как минимум для небольших двигателей (до 5 kW) берется 0,25 *мм*.

Таким образом мы подошли к двум оставшимся величинам: диаметру расточки статора (D) и осевой длине статора (l). От правильного выбора этих величин зависят: максимальное использование активных материалов (динамного железа), неактивных материалов (валовой стали, материала корпусов и т. д.) и создание при расчете машин базы для рационализации производственных процессов. В самом деле, если мы будем при переходе от одной мощности к другой изменять диаметр, оставляя неизменной длину статора, тогда получим столько диаметров, сколько нам требуется мощностей. При этом нам нужно будет иметь очень большое количество вырубных, разъединительных и сегментных штампов, так как нам нужно будет из листа динамного железа вырубать различных диаметров шайбы и сегменты. Кроме того диаметр нам в конечном счете определит габариты корпуса, а следовательно и габариты тех станков, на которых нужно будет обрабатывать эти корпуса. Ниже мы увидим, как крепятся подшипники к корпусу, и это последнее потребует каждый раз новой модели литья подшипниковых щитов, а также различных габаритов станков. В настоящее время эти моменты при создании новых серий двигателей учтены. Необходимо отметить, что диаметр, как видно из формулы (8), выгоднее увеличивать, так как диаметр в формулу входит в квадрате (D^2), а следовательно относительно одинаковое увеличение диаметра и длины, при увеличении диаметра, дает больший эффект в возрастании мощности, чем при увеличении длины, входящей в первой степени (l).

Но беспредельно увеличивать диаметр нельзя из соображений механической прочности материалов вращающихся частей. Ведь диаметр ротора d будет равен при диаметре расточки статора D и воздушном зазоре δ:

$$d = D - 2\delta. \quad (9)$$

При данных оборотах двигателя n окружная скорость на роторе v будет равна:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} \text{ см/сек}. \quad (10)$$

От окружной скорости зависит центробежная сила, а последнее определяет механическое напряжение вращающихся частей, в частности железа ротора. А это усилие не может быть больше допустимых пределов.

Современные рациональные методы расчета установили следующий метод выбора D и l.

Для получения различных мощностей (три, четыре и более) диаметр расточки статора оставляют постоянным, изменяя его осевую длину. Все новые типы двигателей построены, как увидим из дальнейшего изложения, основываясь на этом методе. Но сильно увеличивать длину также нельзя, так как при этом усложняется и ухудшается охлаждение двигателя. Следует отметить, что та сторона закрытого двигателя, с которой засасывается воздух, охлаждается сильнее, чем сторона, откуда выбрасывается воздух. И эта разница тем больше, чем больше длина двигателя.

Таким образом мы пришли к заключению, что основной задачей построения двигателя является его рациональный расчет. Иначе говоря, нужно так выбрать величины, входящие в формулу мощности (8):

$$P_2 = \frac{D^2 \cdot l \cdot n \cdot B \cdot (AS) \cdot \eta \cdot \cos\varphi}{6{,}55 \cdot 10^{-11}},$$

чтобы было достигнуто максимальное использование материалов, высокий коэфициент полезного действия, минимальные производственные затраты при изготовлении, а также типизация производства. Действительно, при одном и том же диаметре расточки статора и изменении его длины производство двигателей трех-четырех мощностей может происходить на одном и том же оборудовании с одними и теми же приспособлениями. По этому пути идут загра-

ничные машиностроительные заводы, а за последнее время и у нас в Союзе при разработке новых серий двигателей. В частности это относится к заводу „Электросила", разрабатывающему серию асинхронных двигателей R/6, и к разрабатываемой в ВЭО серии двигателей АТ (асинхронный трехфазный).

В отношении конструкции новых типов двигателей нужно отметить внедрение в современном электромашиностроении сварных и штампованных конструкций. В настоящее время у всех крупных (свыше 100 kW) двига-

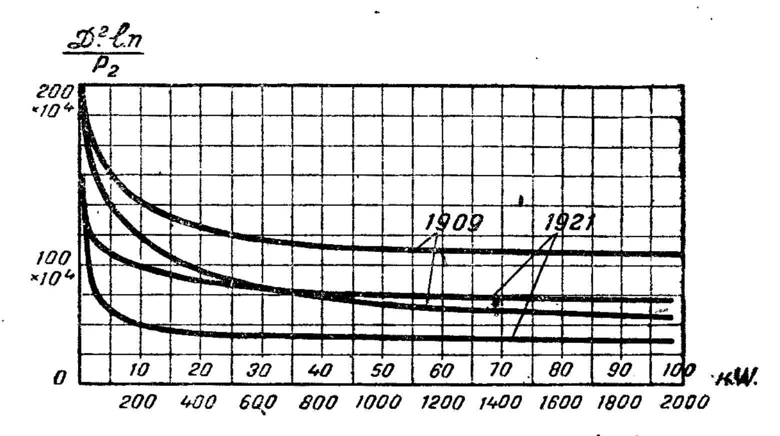


Рис. 13. График машинных постоянных для 1909 и 1921 гг. для асинхронных трехфазных двигателей.

телей не только неподвижные части, но также и вращающиеся выполняются сварной конструкции. Подобные расчет и конструкция в новых типах двигателей дали значительное снижение веса активных и неактивных материалов: в некоторых сериях на 30% и даже больше.

Из предыдущих рассуждений видно, что экономия на материале связывается с мощностью двигателя. Кроме того некоторые величины не приходится подбирать, так как существуют стандартные нормы на к. п. д. и $\cos\varphi$, а относительные изменения (AS) и B незначительны.

В целях удобства характеристики расхода активных материалов при определенной мощности и для сравнения экономичности и совершенства двигателей вводится так называемая машинная постоянная двигателя, ко-

торую можно получить из той же формулы (8):

$$C_m = \frac{D^2 \cdot l \cdot n}{P_2} = \frac{6,5? \cdot 10^{-11}}{B \cdot (AS) \cdot \eta \cdot \cos \varphi}. \qquad (11)$$

Частное от деления $D^2 \cdot l \cdot n$ на полезную мощность двигателя дает меру использования материала в данном двигателе. Эта величина дает удельный расход материалов. Характерно, что величина машинной постоянной по мере улучшения материалов, расчета и конструкции с каждым годом уменьшается при переходе от одного типа к другому (см. график рис. 13 машинных постоянных для различных мощностей для 1909 и 1921 гг.). Приводим также таблицу 3, из которой видно изменение основных величин двигателей.

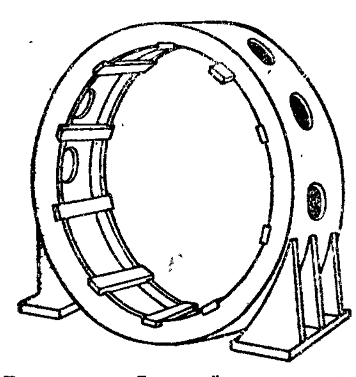


Рис. 14. Сварной железный корпус.

На рис. 14 представлена сварная часть двигателя.

г) Типизация производства.

При широком проведении стандартизации двигателей, при правильной специализации заводов и при наличии хорошо разработанной серии двигателей можно провести типизацию производства. Для этого необходимо произвести некоторые организационно-технические мероприятия на заводе.

Типизация производства заключается в том, что отдельные единицы завода (цеха, отделы) работают исключительно на определенных типах. От количества типов, идущих в том или ином отделе завода, будет зависеть степень типизации производства. Вполне понятно, что для типизации производства необходимо иметь соответствующее количество машин по типам. При этих условиях завод разбивается на отдельные цеха, каждый из которых работает на одном или двух типах двигателей, мало отличающихся между собой. В этом отношении имеется уже пример завода „Электросила“ (производство нормальных машин). Здесь отдел нормальных машин разбит на ленты и цеха, каждый из которых

Таблица 3.

Пределы изменения основных величин (AS, B, η, E, $\cos\varphi$, j_1, j_2 и n) в зависимости от полезной мощности на валу (P_2).

Полезная мощность на валу P_2 kW	Обороты двигателя (синхронные) n об/мин	Индукция в воздухе B_e гауссы	Линейная нагрузка AS А/см	E%	Плотность тока в статоре j_1 А/мм²	Плотность тока в роторе j_2 А/мм²	к.п.д. η	Коэфициент мощности $\cos\varphi$
0,1—1	3 000	4 800—5 700	90—140	11—6	4,4—4	6,7—5,8	0,7—0,81	0,7—0,80
1,1—7,5	1 500	5 700—6 400	140—200	6—4	4—3,7	5,8—5,1	0,8—0,86	0,80—0,85
7,5—25	1 000	6 400—6 700	200—260	4—3	3,7—3,5	5,1—4,8	0,85—0,89	0,83—0,88
26—100	750	6 700—6 900	260—310	3—2	3,5—3,3	4,8—4,5	0,88—0,91	0,87—0,91
101—1 000	500	около 7 000	310—360	около 2	около 3,2	4,5—4,4	0,92—0,93	0,90—0,93
Выше 1 000	300	около 7 200	360—400	1,5	около 3,0	4,4—4,2	0,93—0,94	около 0,93

работает на каком-либо типе. В дальнейшем предполагается при переходе на новые типы машин еще более углубить типизацию путем перевода работы цехов на габариты двигателей (серия АТ). Понятно, что при таком способе организации производства имеются все возможности организовать поточное или крупносерийное производство. Это положение имеет особое значение для среднего и крупного машиностроения.

Прежде чем подойти к характеристике основных преимуществ крупносерийного и поточно-массового производств, нужно еще раз напомнить, что в электромашиностроении преобладает до сих пор индивидуальное или в лучшем случае мелкосерийное производство, что указывает на отсталость техники и организации производства.

1) Характеристики индивидуального производства. Вообще говоря, „чистого" индивидуального производства в настоящее время почти нет, но то производство, которое выше называлось индивидуальным, понимается нами как производство, недалеко ушедшее от индивидуального в настоящем смысле этого слова.

Индивидуальное производство характеризуется следующими основными моментами:

a) Количество одинаковых изделий, выпускаемых данным производством за определенный промежуток времени, например за полгода, теоретически равно нулю, т. е., иначе говоря, выпускаемое сегодня какое-либо изделие не повторится через практически короткое время. Фактически на электромашиностроительных заводах этого не наблюдается, но все же есть изделия, выпуск которых повторяется только спустя очень большой промежуток времени.

Невозможно установить равномерность выпуска изделий строго по графику.

b) На каком-либо станке или рабочем месте за определенный промежуток времени (например сутки, декада и т. д.) обрабатывается несколько различных деталей, причем при обработке одной детали в большинстве случаев остальные остаются лежать в стороне, ожидая своей очереди, вследствие чего „мертвое время" во много раз больше времени, необходимого на обработку детали.

Станки используются по мощности и даже по времени весьма незначительно. Использование станка по времени можно грубо считать не более 20—50%, а иногда и ниже.

c) В виду невозможности заранее закрепить детали за определенным станком, станки и рабочие места нельзя расположить строго по технологическому процессу или, иначе говоря, по потоку деталей. Станки располагаются групповым способом, т. е. однородные станки в одной части мастерской цеха (например токарные, карусельные и т. д.), а другого типа — в другой. Станки, через которые проходит в процессе обработки данная деталь, не могут быть связаны между собой ни местом, ни временем. Завод при этом способе производства обычно разбивается на цеха и отделения, например механический цех, железосборочный, обмоточный, полуфабрикатный, сборочный и т. д. Деталь переходит из цеха в цех (а то и из завода в завод), проходит большие расстояния, измеряемые иногда десятками километров, с большими, конечно, периодами „мертвого времени".

При этом транспортные средства для переброски деталей со станка на станок, и в особенности из одного цеха в другой, весьма примитивны — простые вагонетки. Если станки расположены в одном пролете, то деталь перебрасывается краном, но не сразу с одного станка на другой, а на свободные места в мастерской. Это ведет к удорожанию и задержке выпуска изделий.

d) При индивидуальном производстве необходимо иметь большие складские запасы материалов, литья и прочего, чтобы избежать простоя, ибо очень трудно, почти невозможно, определить момент пуска какой-либо детали в обработку. Большие складские запасы требуют лишних финансовых средств для данного производства.

e) Производственный цикл удлинен, грубо считая, в 5—6 раз. Таким образом, если согласно нормам времени на последовательную обработку изделия требуется один месяц „чистого" рабочего времени, то с учетом „мертвого" времени, обычного отсутствия полного комплекта деталей данного изделия и т. п. требуется на выпуск готового изделия пять-шесть месяцев. Причем и эту цифру нужно считать минимальной, фактически такой заказ длится в производстве до одного года и больше. Размеры незавершенного производства велики и достигают трех-, четырехкратного размера выпуска.

f) Вооруженность такого производства специальными приспособлениями слабая, ибо изготовление их на единицу изделия экономически нецелесообразно. Одновременно с этим

на складе должно быть очень большое количество разнообразного режущего и мерительного инструмента. Все же простои из-за недостатка мерительного инструмента велики. К сожалению мы не можем привести цифрового материала, так как достаточно хорошо поставленного учета нет.

2) Мелкосерийное производство. Мелкосерийное производство отличается от только что рассмотренного лишь тем, что здесь повторный выпуск одинаковых изделий происходит через более короткие промежутки времени, кроме того количество одновременно идущих одинаковых изделий измеряется бо̀льшим числом, от 3 до 10, редко больше. Мелкосерийное производство в электромашиностроении в настоящее время можно считать для средних и крупных машин преобладающим, что объясняется, как уже говорилось, отсутствием широко проведенной стандартизации и специализации, устарелостью машин с точки зрения расчета и конструкции и наконец отсутствием типизации производства.

Отсюда понятно, какое громадное значение имеют опыты завода „Электросила" в разрешении задачи перевода производства из типа мелкосерийного в крупное и поточно-массовое.

3) Крупносерийное производство. Кратко крупносерийное производство можно охарактеризовать следующим:

a) Выпуск состоит из большого количества одинаковых изделий. Одновременно находится в работе ограниченное число (два-три) различных изделий, причем каждое изделие пускается большими партиями, доходящими в зависимости от трудоемкости деталей до десятков единиц.

b) На станок или рабочее место приходится небольшое количество (две-три) различных деталей, а чаще всего от одной до трех операций при одной-двух деталях.

c) Станки расположены по „потоку", т. е. по технологическому процессу. Детали и операции закреплены за станками и рабочими местами.

d) Обычно, особенно по крупным деталям, принят параллельный способ обработки, т. е. одна и та же деталь подвергается одновременно нескольким операциям. Например вал находится в одно и то же время на обдирке, на чистовой операции, шлифовке, фрезеровке, сборке железа и т. д.

Благодаря этому „мертвое" время сведено до минимума и измеряется по механической обработке несколькими часами.

e) При обработке широко употребляются приспособления, экономически себя быстро окупающие. Разнохарактерность режущего и мерительного инструмента сведена до минимума.

f) При крупносерийном производстве имеется возможность диференцировать труд, т. е. работы вести по операциям, закрепить на определенный промежуток времени рабочих за операцией. По этой причине благодаря уменьшению потерь рабочего времени и приобретения навыков рабочим значительно возрастает производительность труда при одновременном уменьшении напряженности.

Кроме всего этого весьма важно, что при крупносерийном производстве можно установить „ритм" — количество выпускаемых изделий за определенный промежуток времени. Скажем, 3 готовых двигателя в сутки или 72 в месяц.

„Ритм" в производстве—вот основной показатель борьбы в наших социалистических условиях.

Ритм организует работу, планирует ее. Благодаря ритму каждое рабочее место получает конкретное задание.

Из сказанного понятно, каковы могут быть результаты при переходе от индивидуального производства к крупносерийному. Конкретные достижения такого рода перехода видим на примере молодежно-комсомольского цеха завода „Электросила".

4) Массово-поточное производство. Массово-поточное производство — следующая ступень организации производства после крупносерийного. Основное отличие его от крупносерийного производства заключается в том, что в работе одновременно находится только одно изделие в течение продолжительного промежутка времени. Деталь закреплена за станком. Время прохождения данной операции точно определено и находится в зависимости от времени прохождения деталью или изделием предыдущих операций.

Например если первая операция требует двух часов, то вторая операция той же детали должна быть выполнена или в один час, или в два часа, или в четыре часа и т. д., но не может быть выполняема например в полтора часа, так как в этом случае скорость потока нарушится: будут скапливаться детали или стоять станки. С этой целью при массово-поточном производстве применяют специальные станки, например многошпиндельные, сверловочные станки и т. д., и специальные приспособления, поддерживающие соотношение времени. При поточно-массовом производстве

„ритм“ поддерживается специальными устройствами: механизированная лента и т. п.

Цикл изготовления детали в поточно-массовом производстве, т. е. время нахождения детали в работе, почти равно сумме нормированного времени отдельных операций.

Массово-поточное производство — та высшая ступень организации производства, к которой должны стремиться электромашиностроительные заводы. Оно возможно, если будут проведены вышеуказанные мероприятия.

Только при этих условиях будет возможно разрешение гигантских задач электромашиностроения.

В настоящее время у нас имеется крупносерийное и массово-поточное производство трехфазных двигателей, главным образом малых мощностей до 10 kW, в редких случаях выше. Необходимо в ближайшее время перевести и крупные электродвигатели на такой тип производства. Тогда мы будем иметь надежный и дешевый электродвигатель. Организация крупносерийного и массово-поточного производства возможна только при типизации производства.

Из сказанного о различных типах производства ясны условия технического планирования производства. При индивидуальном производстве — самые трудные условия для планирования и, наоборот, при массово-поточном производстве — наиболее простые. Поэтому в настоящее время на электромашиностроительных заводах с индивидуальным производством, как например в некоторых цехах завода „Электросила“, очень слабо поставлено техническое и особенно календарное планирование.

Не касаясь значения нормализации, которая имеет не меньшее значение, чем только что указанные мероприятия, перейдем к краткой характеристике модернизированной серии асинхронных трехфазных двигателей завода „Электросила“. Эта серия имеет значение как конкретная попытка разрешить современные задачи советского электромашиностроения, тем более, что она очень близко по своим данным приближается к лучшим европейским и американским сериям.

Разобранные нами вопросы являются, так сказать, проблемными вопросами, которые должны быть разрешены в ближайшее время. От этого будет зависеть не только удешевление и улучшение качества продукции, но также возможность покрытия во второй пятилетке потребности

в электрических машинах. Заводом „Электросила“ при разработке плана второй пятилетки упор взят именно на эти задачи.

IV. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НОВОЙ СЕРИИ R/6 АСИНХРОННЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЗАВОДА „ЭЛЕКТРОСИЛА“.

Выше мы кратко остановились на основных задачах, которые стоят перед советским электромашиностроением, и на методах разрешения этих задач. Нужно сказать, что поставленные вопросы только за последнее время стали получать конкретное разрешение, но еще не в той мере, как это требуется развитием промышленности Советского союза. Но тем не менее некоторые заводы должны были ввести новую технику. В самом деле, увеличение выпуска электрических машин потребовало установки большого количества нового оборудования и расширения производственных площадей, что неминуемо должно было привести к перестановке и старого оборудования. Но полно использовать оборудование при большом разнообразии ассортимента продукции, при отсутствии стандартизации и нормализации, при отсутствии твердо установленной специализации завода и т. п. совершенно не было возможным. В это же время (1929—1930 г.) заводы за границей уже усовершенствовали старые серии машин, использовав все достижения техники машиностроения, металлургии электротехнических материалов (динамное железо с уменьшенными магнитными потерями, специальные стали, чугуны и т. д.) и технологии изоляционных материалов.

Советское электромашиностроение, как новая отрасль промышленности, при колоссальном ее росте не могло дольше находиться на прежнем уровне и должно было немедленно пойти по пути ознакомления с капиталистической техникой, введения ее и дальнейшего развития. Завод „Электросила“ приступил два года тому назад к важной задаче — модернизации (обновления) асинхронных трехфазных двигателей свыше 100 kW, ибо здесь, как нигде больше, крепко засела старая техника. Была проделана большая работа силами завода, в результате которой была создана новая серия асинхронных трехфазных двигателей R/6.

Мы будем рассматривать двигатели этой серии только от 100 kW в сторону повышения.

До серии R/6 на заводе долгое время выпускалась серия R/4 (Siemens). Сравнение серий R/4 и R/6 приведем ниже. Сейчас укажем лишь следующее:

a) Двигатели серии R/4 в отношении использования активных материалов стояли в средием на 25—30% ниже двигателей иностранных фирм (AEG, ЛІ и др.).

b) Для конструкций использовалось главным образом чугунное литье, в то время как за границей широко применялись уже сварные конструкции (фундаментные плиты, корпуса, роторы и т. д.).

c) Но главное несовершенство двигателей серии R/4 заключалось в отсталости их технологического процесса производства.

Разберем это подробнее. Известно, что в электрической машине ее „сердцем" являются обмотки статора и ротора,

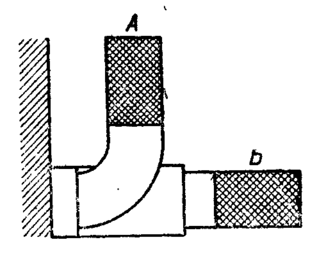


Рис. 15. Лобовые части катушечной обмотки.

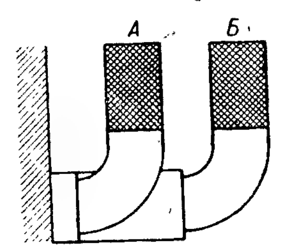


Рис. 16. Лобовые части катушечной обмотки.

так как из практики известно, что выход из строя электрических машин в большинстве случаев наступает после порчи обмотки.

Не только эксплоатация электрических машин, но также и их производство убеждают нас в этом. Серия R/4 в этом отношении находится в весьма невыгодном положении по сравнению с серией R/6 и другими современными сериями. (Это, конечно, не значит, что механическая прочность остальных частей электрической машины не служит гарантией устойчивости ее работы).

Двигатели серии R/4 имели к а т у ш е ч н у ю статорную о б м о т к у, выполняемую впротяжку, т. е. протягиванием проводников в специальные гильзы, вставляемые в пазы статора. Эта операция заключается в следующем. В собранный статор, вернее, в пазы железа статора в зависимости от напряжения вставляются или прессшпановые гильзы (для

машин напряжением до 500 V), или миканитовые гильзы (для машин напряжением свыше 500 V — 2000, 3000 и 6000 V). Толщина стенок гильзы доходит до 2,5 *мм*. Эти гильзы вставляются сначала для нижних катушек *А* (рис. 15), имеющих отогнутую вниз лобовую часть, а после намотки и изолировки таковых приступают к заколачиванию гильз верхних катушек *Б*, имеющих прямую лобовую часть. Если обозначим через z общее число пазов статора, а через n — число оборотов двигателя, то разбивку пазов по верхним и нижним катушкам можно произвести по данным таблицы 4, которая составлена по формуле (12). В зависимости от оборотов число пар полюсов p при частоте тока 50 пер/сек:

$$p = \frac{3000}{n}. \tag{12}$$

Зная число пар полюсов, можно определить и число катушек, так как число катушек Q фазной обмотки равно:

$$Q = 3p.$$

Иногда и верхние катушки в целях лучшего механического крепления от токов короткого замыкания делают также отогнутыми (рис. 16).

Таблица 4.

Синхронное число оборотов в минуту	p	$2p$	Общее число катушек Q	Число катушек на фазу	Синхронное число оборотов в минуту	p	$2p$	Общее число катушек Q	Число катушек на фазу
3000	1	2	3	1	500	6	12	18	6
1 500	2	4	6	2	375	8	16	24	8
1 000	3	6	9	3	300	10	20	30	10
750	4	8	12	4	250	12	24	36	12
600	5	10	15	5					

Число пазов на полюс-фазу, т. е. число пазов, приходящихся на какую-либо фазу и соответственно на один полюс, может быть определено по следующей формуле:

$$q = \frac{z}{3 \cdot 2p} = \frac{z}{6p}. \tag{13}$$

Таким образом, зная число пазов на статоре и число оборотов двигателя, мы по таблице 4 или простым подсчетом устанавливаем число полюсов, число катушек статора у одной фазы и число пазов на полюс-фазу. Эти данные позволяют разбить пазы по катушкам, вставить гильзы и приступить к обмотке.

В зависимости от напряжения на статоре при расчете определяется число витков статорной обмотки, одной фазы, далее одной катушки и после этого число проводников в пазу, их форма и размеры. На электромашиностроительном заводе все указанные данные обмотчику даются, остается только „разбить пазы". По сечению проводника делаются шпильки, которые вставляются в гильзу в равном с числом проводников в пазу количестве. Устанавливается шаблон и после этого, вынимая шпильку одну за другой, протягивают проводник. При четном числе пар полюсов (2, 4, 6, 8, 10 и т. д.) обычно обмотка—двухплоскостная, т. е. лобовые части лежат в двух плоскостях (рис. 15 и 16); в случае нечетного числа пар полюсов (3, 5 и т. д.) одна катушка своими сторонами будет лежать и в первой и во второй плоскости, получая кривую форму. При таком способе намотки (протяжки статоров), в особенности для двигателей, имеющих на статоре высокое напряжение (3000 V и выше), число проводников в пазу получается при расчете большим, и длина конца всех витков двух пазов („канавки") получается значительная—30—40 *м*. Несмотря на принимаемые предосторожности — покрытие проводника при протягивании от руки парафином, поддержание чистоты пола или, как за границей, устройство специальных ящиков, в которые укладывается кольцами „конец", изоляция проводников ухудшается. При этом обмотчик не знает, какой он положил в паз проводник: с плохой или хорошей изоляцией. Не говоря о том, что сама протяжка статоров—работа весьма трудная, обмотка, выполняемая таким образом, имеет и другие большие недостатки чисто электрического и экономического порядка.

Если в паз выполненной таким образом обмотки (рис. 17) уложить проводники правильными горизонтальными рядами (по 3 проводника), то между ними будут оставаться незаполненные места (пустоты), которые служат местом скопления влажного воздуха и влаги, несмотря на пропитку и изолировку обмотки. Скопление воздуха приводит к химическому разрушению изоляции проводников и к короткому

замыканию витков. Однако заполнение паза, т. е. отношение площади меди всех проводников паза к площади паза, особенно увеличивать нельзя, так как иначе при протяжке будет тяжело протаскивать проводник и будет происходить срыв изоляции.

Это ухудшает использование активного железа, ибо приходится делать паз по площади больше, а зубец соответственно уже. Чем меньше сечение зубца, тем меньше можно допустить магнитную индукцию, а следовательно приходится увеличивать размеры машины или итти на уменьшение к.п.д.

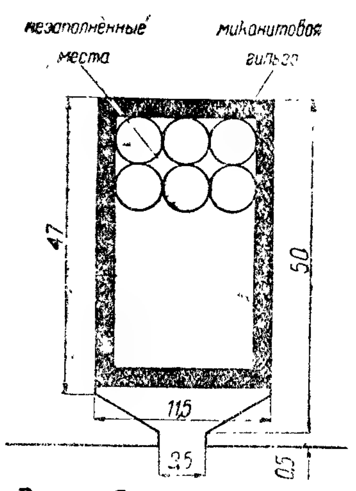


Рис. 17. Эскиз паза и заполнение проводниками при катушечной обмотке, выполненной впротяжку (двигатель 36 kW, 3 kV и 750 об/мин, проводник голый диаметром 1,81 *мм* с изоляцией 2,31 *мм*, число проводников в пазу 51; $z = 72$).

Катушечная обмотка требует большего расхода меди за счет лобовых частей, чем так называемая **американская обмотка**, применяемая в современных машинах.

Разобранный нами процесс намотки статоров является основным недостатком серии R/4, ухудшающим качество машин. Двигатели же на 6000 V и выше невозможно было выполнять с такой обмоткой, и приходилось прибегать к другим весьма сложным типам обмотки, как например разрезной. Правда, при катушечной обмотке пазы статора полузакрытые, и возможно также делать закрытые (применяются очень редко), чего нельзя сделать в случае высоковольтной американской обмотки.

Применение полузакрытого паза по сравнению с открытым дает при прочих равных условиях улучшение коэфициента полезного действия за счет уменьшения потерь от пульсации магнитной индукции в воздушном зазоре.

Кроме указанного недостатка, серия R/4 обладала и другими недостатками: отсутствие широко проведенной нормализации размеров меди как статора, так и ротора, а также и других деталей. В этом отношении, как увидим ниже, серия R/6 имеет колоссальные преимущества.

Таблица 5.

Асинхронные трехфазные двигатели серии R/6.

Открытый тип.

Номинальная мощность электрического двигателя	Синхронное число оборотов в минуту															
	1 500	1 000	750	600	500	375	300	250	1 500	1 000	750	600	500	375	300	250
kW	Коэфициент полезного действия								cos φ при номинальной мощности							
100	0,92	0,915	0,91	0,90	0,90	0,90	0,895	0,89	0,9	0,88	0,87	0,84	0,84	0,8	0,82	0,8
132	0,925	0,92	0,915	0,91	0,91	0,905	0,905	0,90	0,91	0,89	0,88	0,85	0,85	0,85	0,84	0,81
(132)	0,925	0,925	0,92	0,915	0,915	0,915	0,91	0,91	0,91	0,89	0,88	0,85	0,85	0,85	0,85	0,82
175	0,925	0,925	0,92	0,915	0,915	0,915	0,91	0,91	0,91	0,89	0,88	0,85	0,85	0,85	0,85	0,82
(200)	0,93	0,93	0,925	0,92	0,92	0,92	0,915	0,915	0,91	0,89	0,88	0,86	0,86	0,85	0,85	0,83
230	0,93	0,93	0,925	0,92	0,92	0,915	0,915	0,915	0,91	0,89	0,88	0,86	0,86	0,85	0,85	0,8[illegible]
(280)	0,935	0,93	0,93	0,925	0,925	0,915	0,92	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87	0,87	0,86	0,85	0,8[illegible]
300	0,935	0,93	0,93	0,925	0,925	0,925	0,92	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87	0,87	0,86	0,85	0,8[illegible]
4 000	0,94	0,935	0,935	0,93	0,93	0,93	0,925	0,925	0,91	0,90	0,89	0,87	0,87	0,86	0,86	0,8[illegible]
550	0,94	0,94	0,94	0,935	0,935	0,935	0,93	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88	0,87	0,87	0,8[illegible]
750	0,945	0,945	0,945	0,94	0,94	0,94	0,935	0,935	0,91	0,90	0,9	0,89	0,89	0,88	0,87	0,8[illegible]
1 000	0,95	0,95	0,95	0,95	0,945	0,945	0,94	0,94	0,91	0,91	0,91	0,9	0,89	0,88	0,88	0,87

Исполнение PRV (закрытое) возможно для всех типов, расположенных выше толстоочер- нах 5%, при 600 и 500 и 375 оборотов на 20%, для мощностей в скобках 15%.

Мощности в скобках указаны для исполнения на 6000 V.

Тип 296 при 1500 оборотов имеет исполнение RV и KRV.

Номинальное напряжение статора в вольтах					Исполняется на							
					1 500	1 000	750	600	500	375	350	250
127/220	220/380	5 000	3 000	—	206 i	246 i	246 l	246 n	296 k	326 k	386 i	386 k
127/220	220/380	500	3 000	—	246 i	246 l	246 n	296 k	296 m	326 m	386 k	406 i
для	6 000	—	—	—	246 l	246 n	296 k	296 m	326 k	386 i	386 m	406 l
—	220/380	3 000	—	—	246 l	246 n	296 k	296 m	326 k	386 i	386 m	406 l
для	6 000	—	—	—	246 n	246 k	296 m	296 p	326 m	386 k	386 n	426
—	220/380	500	3 000	—	246 n	246 k	296 m	296 p	326 m	386 k	386 n	426 k
для	6 000	—	—	—	296 i	296 m	296 p	326 n	386 k	386 m	426 k	426 m
—	220/380	500	3 000	—	296 i	296 m	296 p	326 n	386 k	386 m	426 k	426 m
—	220/380	500	3 000	6 000	296 l	296 n	326 m	386 k	386 m	406 m	426 m	446 m
—	220/380	500	3 000	6 000	296 n	296 s	326 p	386 m	386 p	406 p	426 p	446 p
—	220/380	500	3 000	6 000	296 r	326 r	326 s	386 p	406 n	426 p	446 p	526 n
—	220/380	500	3 000	6 000	296 r	326 s	386 p	400 p	426 n	446 p	526 n	526 r

ченной линии с понижением мощности при 1000 и 750 оборотов на 10%, для мощностей в скоб-

Обмоточные работы при серии R/4 были исключительно ручными, тогда как у серии R/6 лишь 40—50%, да и то носящих уже другой характер.

Перейдем теперь к описанию двигателей серии R/6.

Двигатели серии R/6 изготавливаются заводом „Электросила" мощностью от 100 до 1000 kW от 1500 до 250 об/мин.

Установлены нормальные мощности: 100, 132, 175, 230, 300, 400, 550, 750 и 1000 kW.

Эти двигатели могут быть открытого и закрытого (с вентиляцией) исполнения для напряжений 127/220, 220/380, 500, 3000 и 6000 V. Все данные этой серии с указанием типов представлены в таблице 5.

Сравнивать данные этой серии с стандартными не представляется возможным из-за отсутствия последних выше 300 kW, но, как увидим ниже, они близки к данным лучших заграничных серий. Буква, стоящая рядом с типом, например PR 246 *l*—750 (буква *l*),* характеризует определенную длину железа: все двигатели на различные мощности, имеющие разные буквы при одной цифре, отличаются в основных размерах только длиной железа при одинаковом диаметре. Ранее указывалось, что новые типы машин именно так и рассчитываются, чтобы сохранить один диаметр для трех-четырех мощностей.

Вся серия имеет следующий ряд внешних диаметров железа статора: 550, 650, 850, 1000, 1250, 1450, 1650, 1850, 2200 *мм*.

Мы видели, что мощность двигателя зависит от величин, косвенно характеризующих расход активных материалов и их нагрузку. К основным относятся D и l, а затем (AS) и B. (AS) и B взяты для серий в следующих пределах:

линейная нагрузка $(AS) = 310—525$ А/*см*,
индукция в воздухе $B = 5000—6000$ гаусс,
индукция в зубцах $B_z = 14\,000—16\,000$ гаусс.

Число наружных диаметров серий у R/4 — 20, у R/6 — 9 почти для одних и тех же пределов мощности.

Это различие весьма ценно, потому что дает значительное сокращение числа различных вырубных и сегментных штампов, весьма дорогих в электрических машинных приспособлениях.

---

* RV — открытый вентилируемый серии R.
PRV — закрытый вентилируемый серии R.
KRV — закрытый вентилируемый ненормальный.
246 — порядковый номер.

Число внутренних диаметров статоров серии R/6 несколько больше, чем серии R/4: у R/4 — 19, у R/6 — 21.

В общем же по количеству штампов преимущество на стороне серии R/6.

Количество статорных штампов:
наружных (вырубных) у серии R/6 — 4, у серии R/4 — 6,
сегментных штампов у серии R/6 — 11, у серии R/4 — 15,
разъединительных штампов у серии R/6 — 9, у серии R/4 — 4.

Наибольшие результаты получены на пазных штампах, где явно видно преимущество серии R/6:
пазных штампов статора у серии R/6 — 32, у серии R/4 — 52,
пазных штампов ротора у серии R/4 — 7, у серии R/4 — 52.

Но дело не только в количестве потребных штампов, а также и в том, что размеры пазов определяются в основном размерами меди статора и ротора и допустимой индукцией в зубцах.

Если сравнить количество различных сечений меди статоров двигателей серии R/4 и R/6, то получим следующие результаты. Серия R/4 имела неопределенно большое количество размеров статорной меди (почти на каждый заказ), в то время как серия R/6 имеет медь статоров прямоугольного сечения, и число различных размеров равно 43. Роторная медь серии R/4 была пятидесяти размеров, серии R/6 — всего четырнадцать.

Достаточно себе представить производство как самой меди, так и производство электромашин, чтобы убедиться в больших экономических достижениях благодаря сокращению различного числа сечений. Поэтому понятно, что серия R/6 дала возможность заводу проявить большую маневренность в отношении меди и значительно упростила заготовку обмотки, внеся большую рационализацию.

В электромашиностроении принято сравнивать совершенство электрических машин по величине машинных постоянных, дающих меру расхода активных материалов, и использование этих материалов в сравниваемых машинах.

Если сравнить серию R/6 по машинной постоянной, равной (см. стр. 24) $C_m = \frac{D \cdot l \cdot n}{P_2}$, с серией R/4, серией AEG и серией ДЖ (американская фирма Всеобщей компании электричества), то получим кривые рис. 18, 19 и 20 для 1500, 1000 и 750 об/мин.

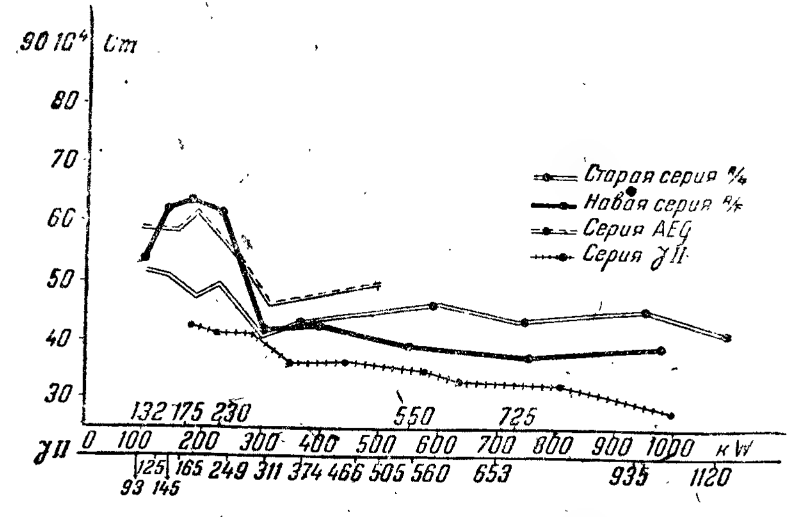


Рис. 18. Сравнительные кривые машинных постоянных $C_m = f$ (kW) для двигателей $2p = 4$, $n = 1500$ об/мин. Серии R/4, R/6, ЈП и AEG.

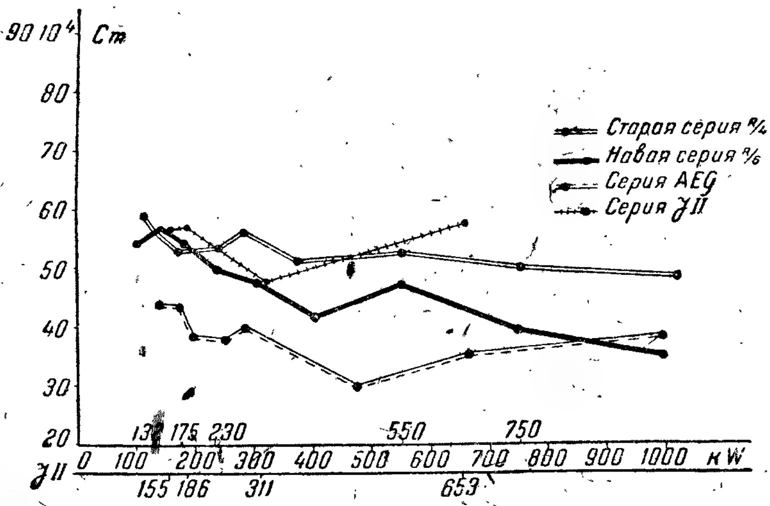


Рис. 19. Сравнительные кривые машинных постоянных $C_m = f$ (kW) для двигателя $2p = 6$, $n = 1000$ об/мин. Серии R/4, R/6, ЈП и AEG.

Мы видим, что машинная постоянная для серии R/6 лежит значительно ниже, чем для серии R/4, т. е. $\frac{D^2 \cdot l \cdot n}{P_2}$ меньше для серии R/6. А это значит, что расход активных материалов на 1 л. с. или на 1 kW мощности двигателя меньше, т. е. материал используется лучше. В дальнейшем увидим, насколько меньше расход динамного железа и меди в серии R/6 по сравнению с серией R/4. Из кривых рис. 18, 19 и 20 видно также, что использование активных ма-

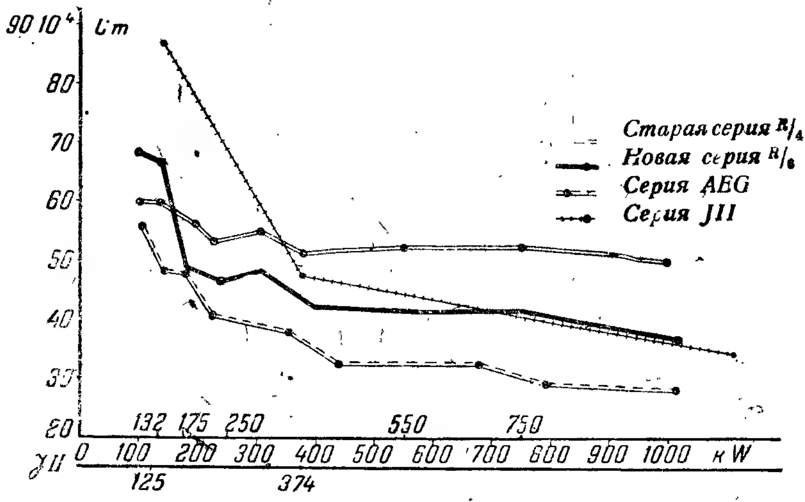


Рис. 20. Сравнительные кривые машинных постоянных $C_m = f$ (kW) для двигателей $2p = 8$, $n = 750$ об/мин. Серии R/4, R/6, ЛІІ и AEG.

териалов в серии R/6 немного хуже серий AEG и ЛІІ, что объясняется почти исключительно лучшим качеством материалов, применяемых этими фирмами. На рис. 21, 22 и 23 приведен расход железа статора и ротора для 750, 1000 и 1500 об/мин для различных мощностей двигателей завода „Электросила", заводов AEG и ЛІІ. Убеждаемся, что расход железа серии R/6 значительно меньший (в среднем на 15—20%), чем серии R/4.

Расход меди статора и ротора в двигателях серии R/6, как видно из кривых рис. 24, 25, 26, меньше, чем в двигателях серии R/4, но больше, чем в двигателях серии AEG и ЛІІ. В отношении роторной обмотки серия R/6, кроме сокращения количества роторной меди и небольших конструктивных изменений, ничем не отличается от двигателей серии R/4.

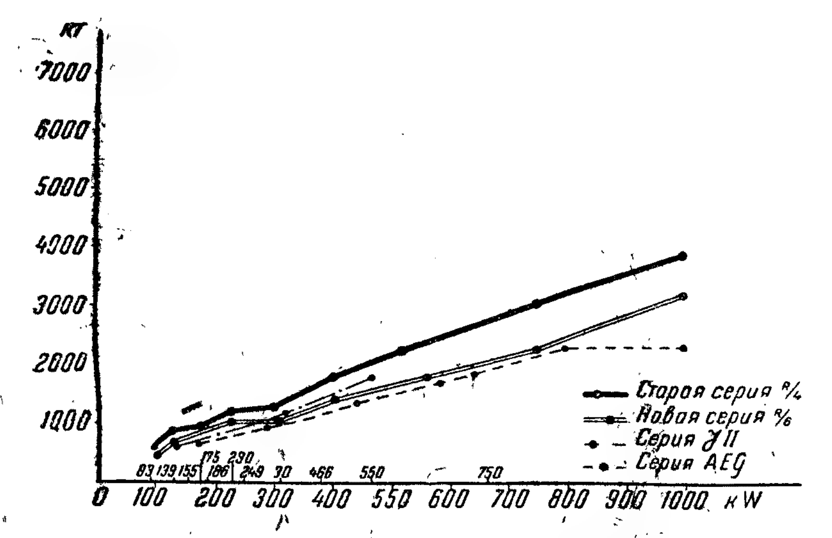


Рис. 21. Сравнительные кривые расхода железа для двигателей $2p = 4$, $n_s = 1500$ об/мин. Серии R/4, R/6, JII и AEG.

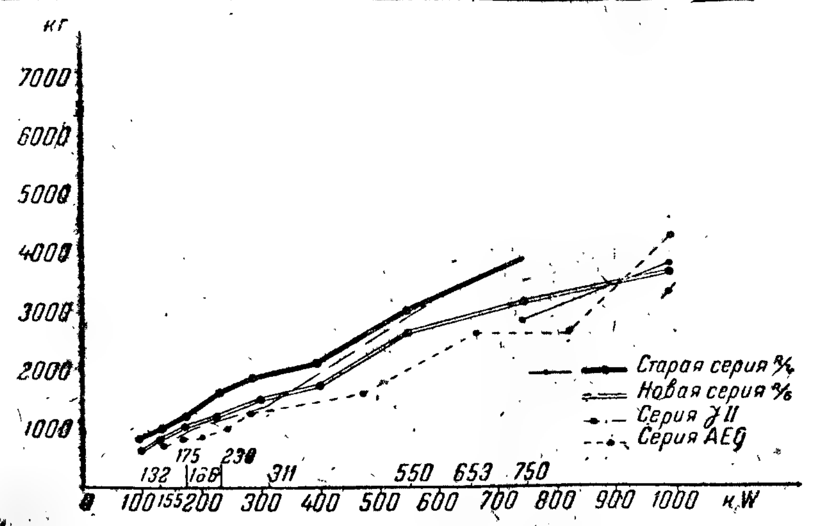


Рис. 22. Сравнительные кривые расхода железа для двигателей $2p = 6$, $n = 1000$ об/мин. Серии R/4, R/6, JII и AEG.

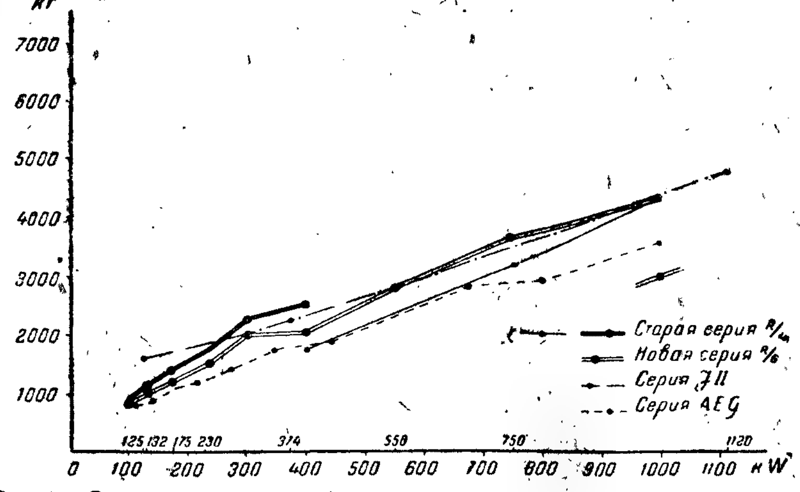


Рис. 23. Сравнительные кривые расхода железа для двигателей $2p = 8$, $n = 750$ об/мин. Серии R/4, R/6, ЭП и AEG.

Примечание к рисункам 21, 22 и 23. Кривые, проведенные жирными линиями, построены по точкам, ординаты которых — веса — найдены по формуле:

$$\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot a \cdot s \cdot t \cdot l \cdot 7{,}8 \cdot 10 .$$

Для кривых же, проведенных слабыми линиями:

$$\frac{\pi}{4}(D^2 \cdot a \cdot s \cdot t - D^{2\prime} \cdot i \cdot r \cdot t)\, l \cdot 7{,}8 \cdot 10^{-} .$$

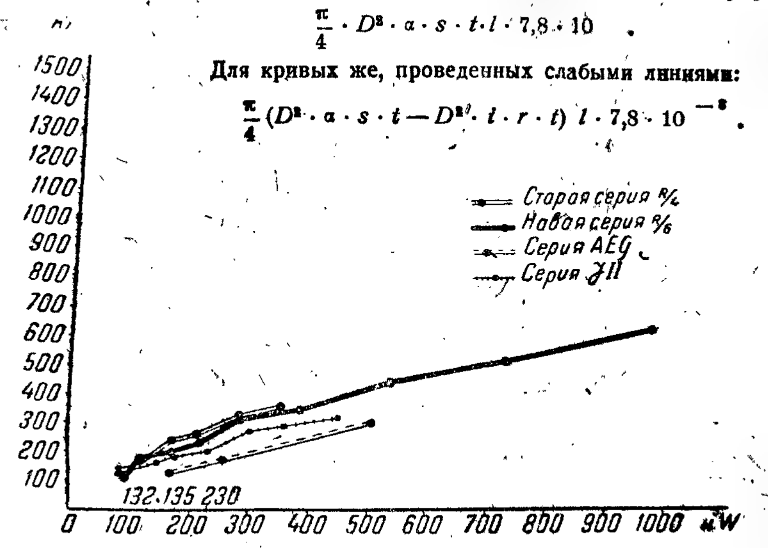


Рис. 24. Расход меди статора и ротора в сериях R/4, R/6, ЭП и AEG для двигателей $2p = 4$, $n = 1500$ об/мин.

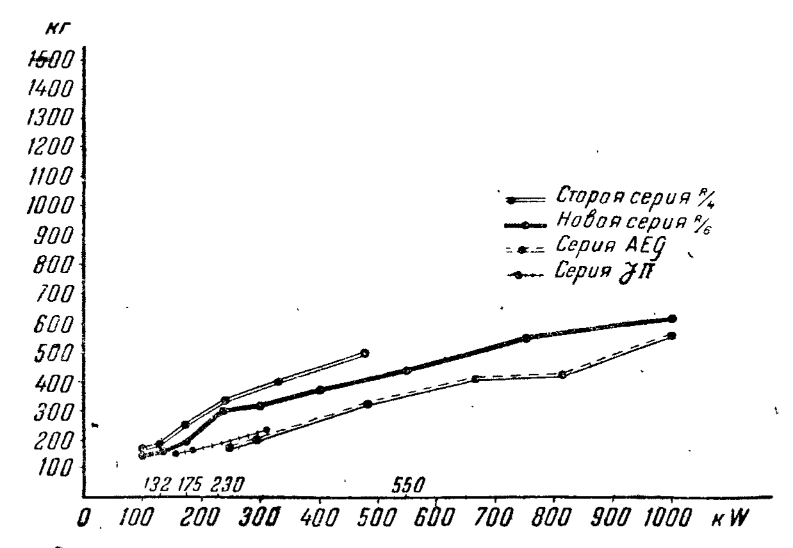


Рис. 25. Расход меди статора и ротора в сериях R/6, R/4, JII и AEG для двигателей $2p = 6$, $n = 1000$ об/мин.

кг
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
Старая серия R/4
Новая серия R/6
Серия AEG
132 175 230
550
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 кW

Рис. 26. Расход меди статора и ротора в сериях R/6, R/4, JII и AEG для двигателей $2p = 8$, $n = 750$ об/мин.

В заключение в таблице 6 сравнивается экономия в активных материалах для серий двигателей R/6 и R/4.

Таблица 6.

Экономия железа и меди в серии двигателей **R/6** по сравнению с серией **R/4**.

Синхронное число оборотов	Мощность kW	Экономия железа в %			Экономия меди в %		
		Максимальная	Минимальная	Средняя	Максимальная	Минимальная	Средняя
1500	100—1000	28,6	10,1	21,8	24,4	0	9,95
1000	»	28,5	10,7	18,2	25,2	8	15
750	»	30,9	0,12	14,7	30,4	0	15
600	»	33,0	5,6	16,3	20,9	5,5	13,2
500	»	33,4	5,03	14,3	29,8	3,6	17,7
375	»	23,2	5,45	15,1	19,0	0,	7,9
300	»	15,6	1,62	6,45	31,0	5,47	17,9
250	»	15,6	1,61	7,9	28,2	4,3	20,4

Но преимущества серии двигателей R/6 этим не исчерпываются. В двигателях серии R/6 впервые были широко применены сварные конструкции корпусов, фундаментных плит, роторов и других деталей, давшие снижение расхода неактивных материалов. Кроме того сварка сама по себе, в особенности для крупных деталей, дает меньшую стоимость, нежели литье.

С введением сварных конструкций не только облегчены детали, но механическая обработка их значительно упростилась и ускорилась благодаря уменьшению припусков на обработку. Надо принять еще во внимание, что за последнее время благодаря неправильности шихты и других причин литье получается ненормально крепким (твердость по Бриннелю доходит до 300), не поддающимся обработке на повышенных скоростях, чего не имеем при сварных конструкциях. В двигателях серии R/6 применены также новые способы крепления железа, значительно упростившие и механическую обработку, и самую сборку железа.

Одним же из самых больших достижений в серии R/6 нужно считать применение американской обмотки для статоров.

V. АМЕРИКАНСКАЯ ОБМОТКА.

В настоящее время применение американской обмотки рассматривается как явление обычного порядка. Нужно сказать, что американская обмотка внесла революцию в технику обмоточного дела благодаря своим ценным качествам по сравнению с другими типами обмоток. Название „американской обмотки“ в практике производства присвоено потому, что впервые широкое распространение эта обмотка получила в Америке, вообще же говоря, этот тип обмотки в теории электрических машин рассматривался значительно раньше. Подобного типа (по форме) обмотка применялась в машинах постоянного тока для якорей.

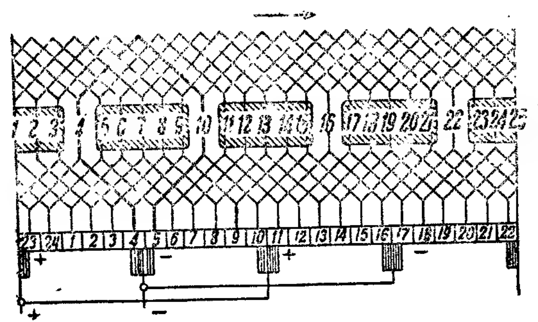


Рис. 27. Схема якорной петлевой обмотки машины пост янвого тока.

Основная принципиальная разница между якорной обмоткой машин постоянного тока и американской обмоткой переменного трехфазного тока заключается в том, что якорная обмотка машин постоянного тока является замкнутой (закрытой), а обмотка трехфазного тока является открытой. В самом деле, возьмем петлевую обмотку (рис. 27) и будем переходить от одной секции (шаблона) к коллекторной пластине, затем ко второй секции и т. д.; таким образом обойдем всю обмотку и увидим, что разрыва (условно: начала и конца) эта обмотка не имеет. Если теперь якорь с такой обмоткой будем вращать в магнитном поле, то общая электродвижущая сила, а также и сила тока в обмотке будет равна нулю. При наложении щеток на коллектор обмотка разбивается на несколько параллельных ветвей, и при включении какого-либо приемника (лампы, сопротивления и т. п.) в обмотке будет протекать ток благодаря разности потенциалов на разноименных щетках.

В случае переменного тока отдельные катушки фаз, положенные одна от другой на 120 электрических градусов, имеют незамкнутые начала и конец.

В зависимости от того, какое будет сопряжение, катушки фаз соединяются между собой в звезду (Y) или в треугольник (Δ) (рис. 28 и 29).

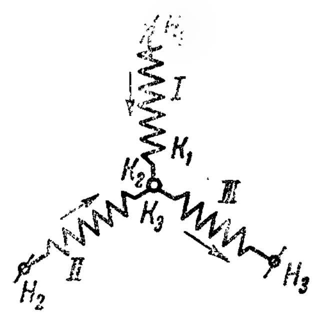


Рис. 28. Сопряжение (соединение) фаз в звезду (Y).

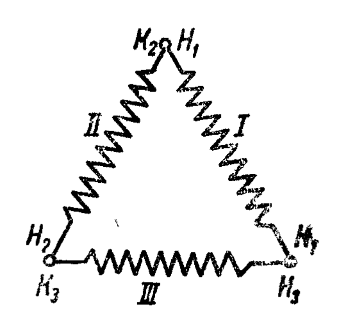


Рис. 29. Сопряжение фаз треугольник (Δ).

Схема обмотки трехфазного тока представлена на рис. 03; при обходе ее видна принципиальная разница с обмоткой постоянного тока, одинаковой с ней по форме.

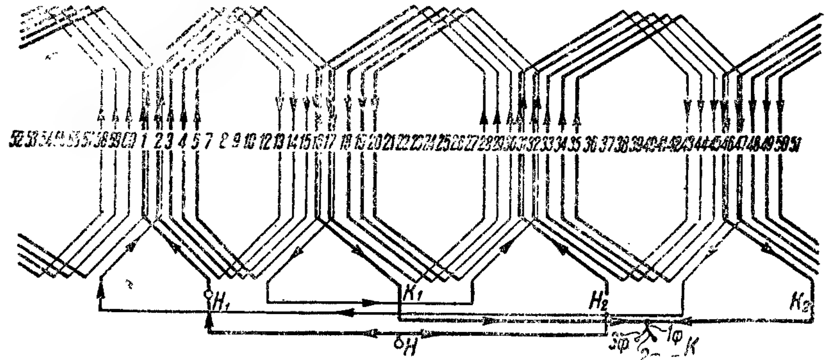


Рис. 30. Схема статорной обмотки трехфазного тока. Одна фаза.

Из этих схем также видно, что в обоих случаях (рис. 27 и 30) обмотка является двухслойной, т. е. в пазу лежат 2 стороны или 2 стержня различных секций, шаблонов. Американская обмотка от других типов обмотки трехфазного тока этим и отличается, например в случае катушечной обмотки в одном пазу находятся витки одной только катушки.

Не касаясь теории обмоток трехфазного тока и в частности американской обмотки, рассмотрим практическое выполнение последней.

Для выполнения американской обмотки необходимо иметь следующие данные:

1) напряжение машины, т. е. напряжение на статоре в вольтах,

2) число витков в пазу,

3) число пазов статора,

4) размеры меди без изоляции, с изоляцией и род изоляции (ПБД или ПБОО),

5) число пазов на полюс и фазу или общее число пазов и обороты двигателя,

6) шаг обмотки,

7) соединение отдельных катушек фазы (последовательное, параллельное или последовательно-параллельное),

8) сопряжение (звезда или треугольник),

9) геометрические размеры статора (диаметр расточки статора, иначе говоря, внутренний диаметр статора, размеры длины железа и формы паза),

10) особые требования, предъявляемые специфичностью условий работы машины, напр. в отношении изоляции — противосыростная, противокислотная, возможности переключения на два напряжения и т. д.

Имея такие данные, можно приступить к определению размеров шаблона, секции. При этом определении мы будем иметь в виду для высоковольтных обмоток миканитовую изоляцию пазовой части.

а) Определение размеров шаблона американской обмотки.

Длина шаблона (рис. 31) слагается из следующих размеров:

1) части обмотки, лежащей в пазу, — l_a;

2) прямой части вылета обмотки (лобовой части) — A;

3) собственно лобовой части — L.

Длина шаблонов будет равна:

$$L_o = l_a + 2A + 2L \qquad (14)$$

Длина l_a равна ширине (полная длина железа статора) железа, измеренного по крайним листам последних пакетов.

Размер A изменяется в зависимости от напряжения и по принятым на заводе нормам берется:

для напряжения 0 — 500 V — 15 *мм*,
для напряжения 3000 — 3300 V — 45 *мм*,
для напряжения 6000 — 6600 V — 60 *мм*.

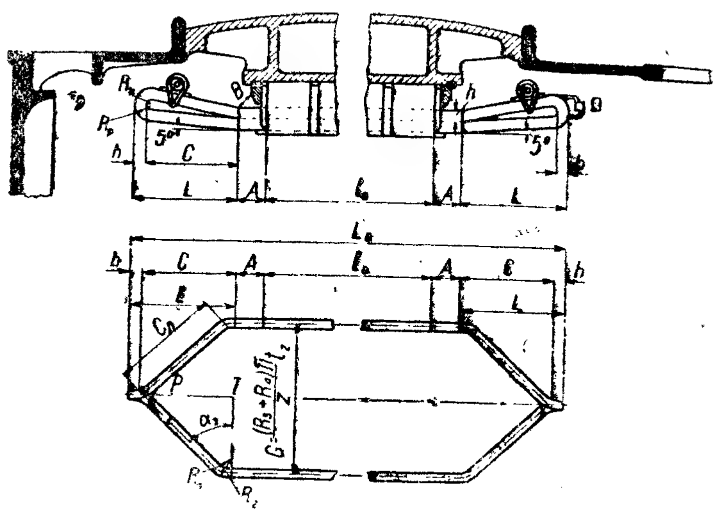


Рис. 31. Чертеж шаблона-секции американской статорной обмотки.

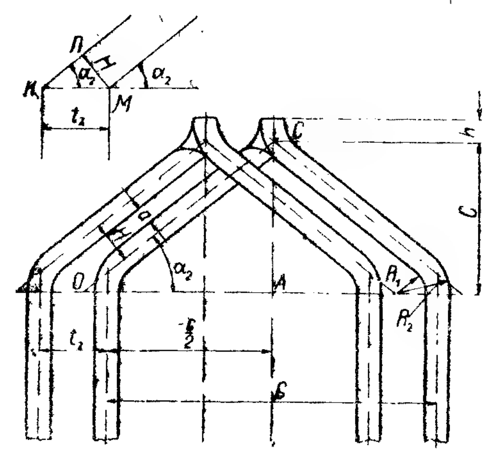


Рис. 32. Чертеж лобовой части американской статорной обмотки.

Все трудности сводятся к определению размера L. Покажем, как можно приближенно определить этот размер. Практически это определение вполне применимо.

Размер L, как видно из рис. 31, слагается из длины C и размера h. Размер h есть высота стороны шаблона.

$$L = C + h. \tag{15}$$

h известно, если дано число витков в пазу и изоляция паза.

C определим из рис. 32. Из треугольника COA:

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{AC}{OA} \cong \frac{C}{\left(\frac{G}{2}\right)}, \tag{16}$$

считая $OA \cong \frac{G}{2}$, где G — ширина шаблона.

$$G = \frac{(R_3 + R_4) \cdot \pi}{z} \times \text{шаг обмотки}, \tag{17}$$

где R_3 и R_4 — радиусы, которые находятся по рис. 33, z — число зубцов статора.

Таким образом:

$$C = \frac{G}{2} \operatorname{tg} \alpha_2. \tag{18}$$

Но нам в этой формуле не известен угол α_2, который мы определим из следующих условий. Нам необходимо угол α_2 взять таким, чтобы просвет между изолированными катушками a (рис. 32) оставался в пределах, определяемых по таблице 7.

Таблица 7.

Напряжение V	a мм
0 — 2 300	4,5
2 301 — 4 000	5
4 001 — 6 600	6,5
6 601 — 10 000	9
10001 и выше	11,5

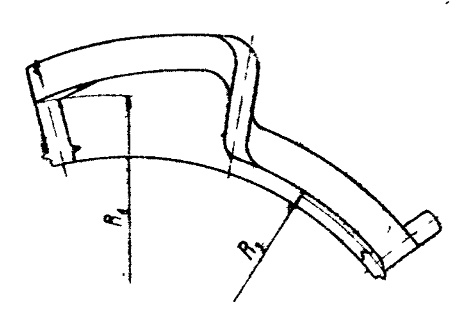


Рис. 33. Переход в лобовой части шаблона в американской статорной обмотке.

Размер H (рис. 32) зависит от a и равен приблизительно ширине паза плюс размер a. Нетрудно найти из треугольника $КЛМ$ (рис. 32, сверху):

$$\sin \alpha_2 = \frac{H}{t_z}, \qquad (19)$$

где t_z — шаг зубцов статора.

$$t_z = \frac{2\pi \cdot R_2}{z}, \qquad (20)$$

где z — число зубцов статора.

Из формулы $\sin \alpha_2 = \frac{H}{t_z}$, определив H и t_z, найдем $\sin \alpha_2$, а по синусу найдем и самый угол α_2.

Возвращаясь к формуле (18), видим, что в ней нам все известно: $\frac{G}{2}$ и $\operatorname{tg}\alpha_2$ (так как известен угол), а следовательно можем определить размер C. Подставляя значения C и h в формулу

$$L = C + h,$$

получим длину L несколько преуменьшенной благодаря тому, что мы должны были при определении C, $\operatorname{tg}\alpha$ множить не на $\frac{G}{2}$, а на величину, большую OA, за счет радиусов закругления R_1 и R_2. И поэтому окончательно:

$$L = C + h + (15—20\ мм). \qquad (21)$$

Теперь у нас все размеры шаблона в растянутом состоянии известны: длина (L) и ширина (G).

После этого можно приступить к намотке шаблонов.

Как видно из рис. 31, нижняя сторона шаблона не прилегает плотно к верхней стороне. Между ними получается конусообразная щель, сходящаяся к прямой части.

Радиусы R_k и R_p, показанные на рис. 31, берутся по таблице 8.

R_k — радиус со стороны контактных колец, R_p — с задней стороны.

Радиусы закругления R_1 и R_2 (рис. 32) берутся:

$R_1 = 25\ мм$ при изоляции лобовой части без миканита и

$R_1 = 50\ мм$ с миканитом.

$R_2 = R_1 + p$, где p — ширина меди с изоляцией.

Таблица 8.

Напряжение V	R_k мм	R_p мм
0 — 2 300	6	6
2 301 — 4 000	8	6
4 001 — 6 600	10	8
6 601 — 10 000	12,5	10
10 001 и выше	17,5	12,5

Длины L (рис. 31) для передней и задней стороны лобовой части обмотки берутся равными.

Угол отгиба головок берется равным 5°. Намотка секций производится на шаблоне, установленном на станке

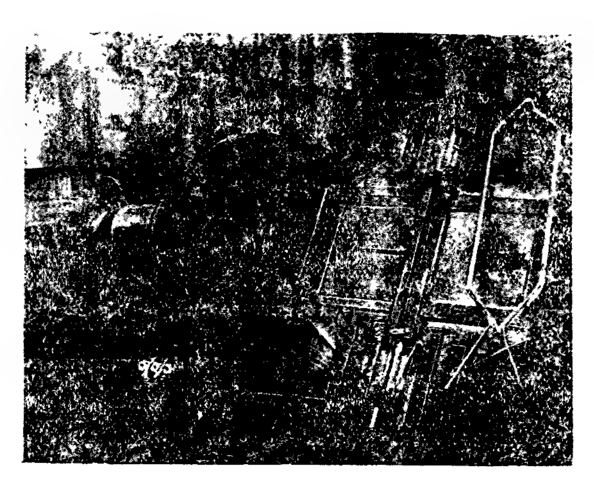


Рис. 34. Намотка секций американской статорной обмотки на намоточном станке.

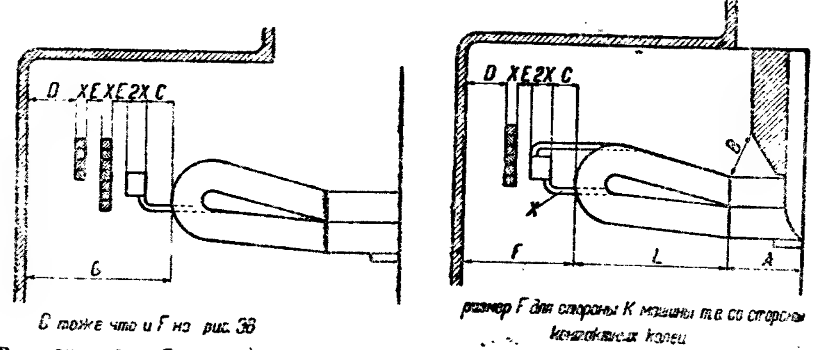


Рис. 35 и 36. Определение размеров расстояний лобовой части и соединений американской статорной обмотки.

(рис. 34). После намотки необходимо обязательно проверить первые три-четыре шаблона на макете или, лучше, в самом статоре, если таковой уже собран, и после того, как будут проверены все размеры, можно приступить к следующим

операциям. Дело в том, что если будут неправильно намотаны шаблоны, то расстояния от металлических частей, окружающих обмотку, не будут выдержаны (расстояние от корпуса, от подшипниковых щитов и т. д.), вследствие чего может возникнуть опасность „переброса“ с обмотки на эти части, что поведет к разрушению изоляции и порче обмотки. Расстояния (рис. 35 и 36) эти должны быть выдержаны согласно таблице 9.

Таблица 9.

Напряжение V	A	B	C	D	E	F	G	Изоляция соединений
	в миллиметрах							
0 — 500	15	10	20	15	10	46+3X	56+4X	1 слой эксцельсиора-ленты
3 000 — 3 300	45	25	25	30	12	68+3X	80+4X	2 слоя эксцельсиора-ленты
6 000 — 6 600	60	42	25	50	16	92+3X	180+4X	5 слоев эксцельсиора-ленты

Показанный на рис. 31 шаблон для намотки американской обмотки пригоден не во всех случаях практики. Если сечение проводника по расчету получается примерно больше, чем 20—25 *мм*², то уже возникают большие трудности в намотке указанным способом. В этом случае обычно медь берется голая, и изоляция витков происходит во время изготовления обмотки. Для этой цели шаблон представленной на рис. 31 конструкции оказывается слабым, и растяжка от руки становится невозможной. В связи с этим при намотке обмотки из такой меди применяют другие шаблоны, иногда по форме готового шаблона, или наматывается, как обычно, „лодочка“, а растяжка производится на специальном приспособлении. Но для нормальных асинхронных двигателей, например, для серии R/6, для которой взята статорная медь сечением до 14,5 *мм*², все шаблоны возможно мотать так, как показано на рис. 31. Представленный шаблон не является идеальным; он имеет много недостатков, оставшихся от намотки якорных секций на подобных шаблонах, но тем не менее является одной из испытанных и широко применяемых конструкций. В целях избежания больших сечений меди проводника для облегчения обмотки, а также уменьшения добавочных потерь от так называемых токов Фуко, приходится брать параллельные проводники: два, три и более (однако редко больше трех проводников). Тогда ставятся сразу три барабана с одинаковой медью, и намотка происходит как одним проводником. В случае машины высо-

мого напряжения на 3000 и 6000 V приходится брать большое число витков в пазу, и в этом случае при намотке секций применяется так называемая *поперечная кладка* проводников, представленная на схеме рис. 37. Этот способ намотки дает меньшие напряжения между витками, но с другой стороны, ведет к тому, что получаются переходы, которые при слабой изоляции витков в лобовой части дают витковые короткие замыкания в шаблоне в лобовых частях. Эти переходы должны быть особенно усилены в отношении изоляции, что достигается перекрытием таковых эксцельсиором. Заготовка американской обмотки, не представляющая ничего трудного, требует однако большого внимания. Не говоря уже о размерах, которые должны быть тщательно проверены после намотки, но особенно важно, чтобы переход от прямой части шаблона к лобовым был выполнен с сохранением заранее выбранных радиусов. Если эти радиусы не будут выдержаны, то впоследствии может получиться брак шаблонов-секций из-за невозможности

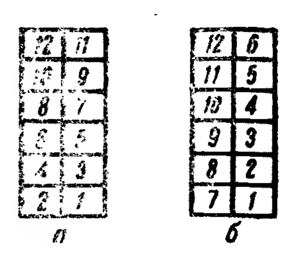


Рис. 37. Эскиз расположения проводников в пазу: *а* — продольная укладка, *b* — поперечная.

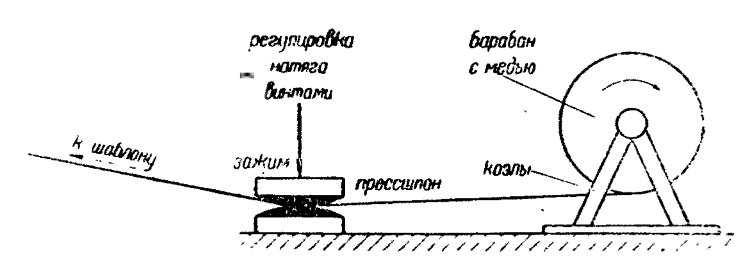


Рис. 38. Схема натяга проводника при намотке секций американской обмотки.

вкладки обмотки или пробоя изоляции паза. На углах паза шаблоны приходится мотать с натягом проводника через зажим (рис. 38); при этом легко может быть содрана изоляция проводника, если будет или слишком сильный натяг, или будут острые края у зажима.

Для избежания сдирания изоляции рекомендуется под дощечки зажима подкладывать прессшпан.

Как видно из рис. 34, шаблон для намотки является плоским; поэтому необходимо, чтобы станок давал возможность быстро и плавно изменять скорости, что достигается специальным устройством привода станка.

Такой способ намотки является устарелым, но пока что применяемым.

После намотки шаблоны поступают на изолировку, пройдя производственный контроль.

Проверка шаблона-секции сводится к внешнему осмотру изоляция витков и затем главным образом к проверке правильности размеров секции. Проверяется ширина шаблона, длина пазовой части и общая длина. Кроме этого необходимо обратить особое внимание на плотность прилегания витков одного к другому, притом правильными рядами, иначе при дальнейших операциях возможно, если будут отдельные витки слабо натянуты, перевертывание их, что может повести к витковому короткому замыканию и нарушению размеров пазовой части шаблона.

б) Определение размеров „лодочки" секции американской обмотки.

Как видно из рис. 31, готовый, растянутый шаблон получается путем растяжки наматываемой „лодочки". Выше мы указали, как можно определить размеры секции в растянутом виде. Теперь, зная размеры готовой секции, определим размеры „лодочки" и тем самым настроим шаблон для намотки.

Требуемая форма головок секций обмотки достигается устройством соответствующих по радиусам головок на шаблоне. Эти головки, как ясно видно из фотографии шаблона, могут передвигаться по клинообразным направляющим половинок шаблона.

Пазовая часть (можно видеть из рис. 31) секции в растянутом виде и в виде „лодочки" имеет один и тот же размер ($l_a + 2A$); следовательно растяжка секции из формы „лодочки" будет происходить за счет уменьшения исключительно лобовой части „лодочки". Поэтому, если мы сумеем определить длину лобовой части „лодочки" секции, то тогда нетрудно будет определить общий размер длины и соответственно этому установить на шаблоне его головки. Пренебрегая некоторыми величинами, не имеющими практически при намотке никакого значения (почему — увидим позже), согласно черт. 31 $C_л$ будет гипотенузой в треуголь-

нике ATP с катетами, равными C и $\frac{G}{2}$, что нам уже известно. Следовательно можно написать:

$$C_л = \sqrt{C^2 + \left(\frac{G}{2}\right)^2}. \qquad (22)$$

$C_л$ из этой формулы определим приблизительно, ибо мы не приняли во внимание радиусов закругления R_1 и R_2 и отгиб лобовых частей секции на 5°. Зная $C_л$ и h, мы найдем размеры „лодочки". В виду простоты устройства установки головок в рассматриваемом намоточном шаблоне, после такого грубого подсчета можно приступить к намотке. Намотав первую секцию, сняв ее со станка, отогнув лобовые части на 5°, необходимо проверить сначала правильность растяжки, т. е. величину G, и только после этого—правильность размеров лобовых частей секции. В случае неправильности необходимо изменить упоры головок на соответствующий размер.

Обычно на третьей-четвертой секции можно достигнуть правильных размеров секции и продолжать намотку дальше.

Устройство шаблона для намотки, и способ намотки „лодочек" и растяжное приспособление видно ясно из рис. 34.

Растяжное приспособление представляет собой две зубчатые рейки, движущиеся в обойме и передвигаемые вращающейся между ними цилиндрической зубчаткой.

в) Изоляция американской обмотки двигателей трехфазного тока.

Если обмотка является „сердцем" двигателя, то сама обмотка, ее надежность и долговечность зависят главным образом от качества изоляции. Неудивительно поэтому, что вопросами изоляции электрических машин занимаются в настоящее время не только электромашиностроительные заводы, но также целый ряд научно-исследовательских институтов.

Эта работа, во-первых, направлена на изготовление отечественных изоляционных материалов. Известно, что такие важнейшие изоляционные материалы, как шеллак, всевозможные промасленные полотна, каучуковая изоляция, хлопчатобумажная изоляция (прессшпан, латероид и т. д.), до сего времени получаются из-за границы. Мы получаем из-за границы не только те изоляционные материалы, которых по природным условиям у нас не имеется, например шел-

лак, но также и такие, которые изготовляются из самых обычных материалов (дерево). Идущие в большом количестве основные изоляционные материалы высоковольтных обмоток—миканит и микафолий, состоящие главным образом из слюды и склеивающих изоляционных веществ, как например шеллак, мы получали до недавнего времени из-за границы. Для освобождения от заграничной зависимости советского электромашиностроения проделано очень много. В настоящее время, как известно, в Советском союзе налаживается производство всех видов бумажной изоляции. На заводе „Электросила" была проделана большая работа по постановке производства очень важного изоляционного материала—эксцельсиора (полотно, пропитанное специальными изоляционными лаками). Налажено собственное производство миканита и микафолия. Широко применяются изоляционные изделия из бакелита. Всякое изменение и улучшение в применении собственных материалов для обмоток электрических машин зачастую решает применимость и самой обмотки. Американская обмотка вполне выдерживает соответствующую критику.

Второе направление, по которому проходит работа по изоляции машин,—это создание такой изоляции, которая допускала бы большие температуры нагрева частей машины при одновременно высокой пробивной способности. Известно, что благодаря потерям в электрических машинах, в конечном счете превращающимся в тепло, части машины нагреваются. Для электрических машин нормы предписывают допустимую температуру частей для каждого рода изоляции.

В качестве примера укажем, что по германским нормам обмотки, заложенные в пазы машины переменного тока (в статоре), при хлопчатобумажной изоляции не пропитанной должны иметь предельную температуру 75° С или превышение температуры над окружающим воздухом 40° С.

Те же нормы для изоляции на слюдяные и асбестовые препараты допускают температуру 115° С или превышение 80° С (температура окружающего воздуха принимается за 35° С). Отсюда видно, что род изоляции определяет возможно допустимые температуры частей машины. Для слюды эта температура выше, чем для всевозможных хлопчатобумажных лент, прессшпана и т. п. Повышение же допустимой температуры машины и главным образом обмотки имеет большое значение для возможности использования

материала. При одних и тех же материалах и условиях, чем выше допустимая температура, тем большая нагрузка допускается на материал, в частности например на медь. А следовательно, повышая нагрузку, мы можем уменьшить расход материалов и тем самым облегчить машину.

В настоящее время с указанной целью применяют в качестве изоляции специально обработанный асбест или так называемую асбестовую изоляцию. Ведутся опыты над применением в качестве изоляции эцетил-целлюлозы. Целый ряд других изоляционных материалов исследуется в смысле применения их в электромашиностроении. С развитием химической промышленности в СССР разрешение этих задач возможно, и они будут разрешены при единой дружной работе заводов и научно-исследовательских учреждений.

Кроме того перед заводами в вопросах изоляции стоит задача выбора таких методов изоляции, а вместе с тем типов обмотки, которые позволили бы применить новые изоляционные отечественные материалы, и в то же время повысить качество этой изоляции. Американская обмотка в этом отношении, как увидим ниже, лучше всех остальных типов обмотки.

Для статорных обмоток американского типа асинхронных трехфазных двигателей в настоящее время применяются следующие методы изоляции и изоляционные материалы. Изоляцию секции разделяют на две части: на пазовую часть обмотки секции и на лобовую часть обмотки секции.

Изоляция пазовой части в отношении выбора изоляционных материалов и методов изоляции зависит от рабочего напряжения машины. Но здесь необходимо указать, что в виду большого разнообразия в изоляционных материалах и большого различия в их электрической прочности выбор их и способ изолировки представляется весьма трудной задачей, к разрещению которой в каждом отдельном случае нужно подходить весьма осторожно.

Большое значение имеет вопрос, как располагать выбранные изоляционные материалы по отношению к железу. Обычно на железо накладываются изоляционные материалы, имеющие большую механическую прочность, в целях сохранения остальных слоев от механических повреждений и тем самым увеличения электрической прочности общего слоя изоляции.

Электрическая прочность общего слоя изоляции не равна арифметической сумме отдельных значений электри-

Таблица 10.

Качества наиболее употребительных изолирующих материалов.

Название изолирующего материала	Электрич. прочность в вольтах на 1 *мм* толщины при 50 пер/сек	Удельн. объемное (1 cm^3) сопротивлеиие в мегомах при 25° C	Гигроскопичен или нет	Теплопроводность при 20° C в кал. $\times 10^{-4}$	Сопротивляемость окислению и стойкость во времени	Диэлектрическая постоянная
Хлопчатобумажная пряжа без пропитки	3 000— 5 000	от 1 000 до 10^8 в зависимости от степени просушки	да	2,5	становятся хрупкими	—
Хлопчатобумажная пряжа пропитанная	5 000—20 000		„	5		—
Пропитанная лента	5 000—10 000		„	3,5		2
Эксцельсиор	10 000—20 000		„	6,0		2
Прессшпан без пропит.	5 000—10 000		„	4,0		2
Прессшпан, покрытый слоем стерлинг-лака	20 000—30 000		„	5,0		2
Латероид	5 000—10 000		—	5,0		—
Слюда	15 000—40 000	$5—100 \times 10^6$	нет	8,7	очень хорошая	6—8
Миканит	15 000—40 000	$10—6\,000 \times 10^6$	нет	2,9	„ „	6—8
Шеллак при 28° C	5 000—20 000	9×10^9	да, если не стекловидный	—	—	8
Бакелит	20 000—25 000	—	нет	6,0	очень хорошая	
Парафин при 46° C	8 000	3×10^{10}	нет	2,0	—	2
Каучук	10 000—20 000	$2—10 \times 10^8$	в слабой степени	4,0	портятся на свету и в воздухе	2,2—2,5
Гуттаперча	5 000—20 000	$25—5 \times 10^8$	нет	4,0		3,3—4,9
Эбонит	10 000—30 000	$2—100 \times 10^8$	в слабой степени	4,0		2,5
Фибра	1 000—10 000	$1\,000 - 10^8$	да	5,0	становится хрупкой	—
Дерево, проваренное в масле	2 000— 8 000	$1\,000—10^5$	да	4,0	хорошая	—
Асбест	3 000	16×10^4	да	0,5	очень хорошая	—

ческой прочности слоев; поэтому нужно будет проверить прочность не только отдельных изоляционных материалов, составляющих слой, но также и прочность всего слоя в принятом чередовании изоляции.

Электрическая прочность отдельных изоляционных материалов представлена в таблице 10 (В. А. Толвинский, Электрические машины постоянного тока, изд. 1929 г.), из которой видны пределы электрической прочности для различных изоляционных материалов.

На заводе „Электросила" рекомендуется следующий метод изоляции для американской обмотки двигателей переменного тока напряжением до 500 V, который практически иногда варьируется.

Шаблон после обмотки изолируется тафтяной лентой толщиной 0,18 *мм* внахлестку. После этого рекомендуется шаблоны пропитать в асфальтовом изоляционном лаке печной сушки для того, чтобы лучше пропитать изоляцию отдельных проводников, так как при пропитке обмотки статора лак иногда не проникает вглубь обмотки, и витки остаются белыми, не покрытыми защитным слоем лака.

Пазовая часть составляется из двух слоев прессшпана толщиною 0,2 *мм* каждый, пропитанного в олифе, и одного слоя прессшпана повышенного качества толщиной 0,3 *мм*.

Между сторонами катушек в пазу прокладывается прессшпан толщиной 1 *мм*. В целях усиления изоляции очень часто, в особенности при плохом прессшпане (электрической прочности в 4000 V), изоляция паза делается следующей: на железо накладывается латероид толщиной 0,2—0,3 *мм*, затем слой эксцельсиора 0,2 *мм*, проходной слой прессшпана 0,2—0,3 *мм*. Толщина всей изоляции примерно на сторону равна 0,9—1,1 *мм*. Лобовая часть, кроме общей по всему шаблону тафтяной ленты, ничего не имеет. Только концы шаблона изолированы усиленно эксцельсиором и лентой во избежание виткового короткого замыкания, а также пробоя при перенапряжениях.

В общем случае подбор изоляции происходит опытным путем с таким расчетом, чтобы электрическая прочность взятого слоя при вложенной в паз обмотке была выше производственного испытательного пробивного напряжения, значения которого (плюс еще некоторый запас) приведены в таблице 11.

Таблица 11.

Рабочее напряжение		
	500 V	1-е испытание — 3000 V 2-е испытание — 2500 V 3-е испытание — 2000 V
	3000 V	1-е испытание — 9900 V 2-е испытание — 8500 V 3-е испытание — 7000 V
	6000 V	1-е испытание — 1800 V 2-е испытание — 1800 V 3-е испытание — 1000 V

В этой таблице:

1-е испытание — после укладки обмотки до соединения, 2-е испытание — пробой обмотки в собранной испытанной машине и 3 испытание — в случае приемки машины по особым условиям.

Эти напряжения утверждены IX Всесоюзным электротехническим съездом.

Второе, не менее важное указание будет относительно заблаговременной пропитки всей хлопчатобумажной изоляции.

В таблице изоляционных материалов мы видим, что большинство хлопчатобумажных изоляционных материалов гигроскопично, т. е. впитывает в себя влагу из окружающего воздуха. Присутствие влаги в особенности в пазу не только не желательно, но и вредно (см. стр. 34). Электрическая прочность влажного прессшпана значительно ниже, чем сухого. С целью уменьшения гигроскопичности хлопчатобумажной изоляции она предварительно пропитывается в олифе или в асфальтовом лаке. При этом необходимо, чтобы пропитывающее вещество ложилось ровным слоем. После легкой просушки изоляционный материал не должен стать хрупким, что имеет место в случае неправильной пропитки, особенно в олифе. Как правило, обмотки машин до 500 V должны пройти перед пропиткой предварительную сушку в течение 6—8 часов при температуре 80—90° С, а затем — сушку после пропитки в зависимости от лака 10—16 часов при температуре печи 90—100°С.

Важную роль играет метод пропитки. В заводских условиях употребительны два метода: купание всего статора в ванне с асфальтовым лаком печной сушки или обливание обмотки (об этом подробнее говорится ниже).

Размеры пазовой изоляции американской обмотки до 500 V указаны на рис. 39.

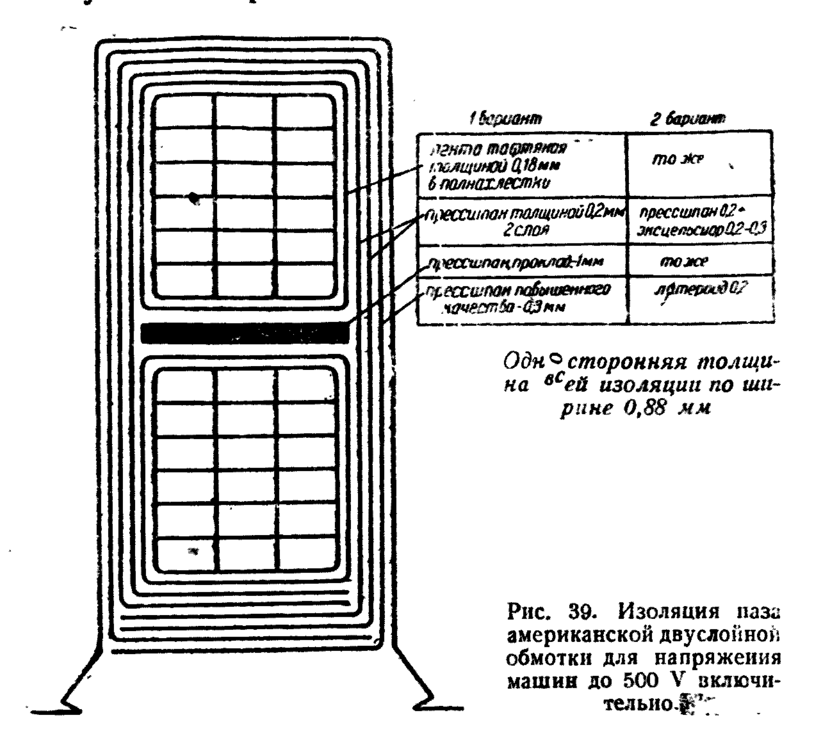


Рис. 39. Изоляция паза американской двуслойной обмотки для напряжения машин до 500 V включительно.

Мы разобрали способ изоляции пазовой и лобовой частей американской обмотки для двигателей напряжением до 500 V включительно.

Но современные двигатели мощностью свыше 100 kW в большинстве случаев строятся для напряжения 3000 и 6000 V. В этом случае пазовая и лобовая части имеют уже совершенно иные изоляционные материалы и методы изолировки.

В настоящее время применяются два различных метода изоляции американской статорной обмотки двигателей для напряжения 3000 и 6000 V.

1-й метод. Намотанные секции предварительно компаундируются, затем пазовая часть покрывается микафолием или гибким миканитом. Лобовая часть при этом изолируется отдельно от пазовой части эксцельсиором.

2-й метод. Намотанные секции предварительно компаундируются, затем пазовая и лобовая части секции непрерывно покрываются в определенном порядке лентами, изготовленными на специальных лаках (черный кембрик, миколенты и т. п.).

Первый метод, широко применяемый до последнего времени за границей и применяемый в настоящее время у нас, считается устарелым, но переход ко второму методу связан у нас в СССР только отсутствием необходимых изоляцнонных лаков, производство которых будет поставлено в бижайшее время. Второй метод ценен тем, что в этом случае лобовая и пазовая части в отношении материалов изоляции и способов наложения одинаковы, и поэтому такая изоляция получила название непрерывной изоляции.

Наложение изоляции в этом случае может быть полностью произведено на станках, что приводит почти к полной механизации процесса намотки машин, за исключением укладки обмотки в пазы.

Сущность первого способа изоляции заключается в следующем.

Намотанные на станке секции с выправленными выводными концами изолируются тафтяной лентой по всей длине. При этом отдельные витки должны быть расправлены для того, чтобы получились правильные ряды. Лентой витки плотно стягиваются. В случае, если в лобовой части имеются переходы, при параллельном способе намотки витков секции в места перехода (крестов) витки должны быть усилены изоляцией для избежания виткового короткого в секции шаблоне. Для этого их покрывают в этих местах эксцельсиором. Затем секции предварительно рихтуются, т. е. отгибаются лобовые части на угол 5° (рис. 31), а стороны шаблона - располагаются по радиусу статора. Для этого делается шаблон-макет, подобный статору. В таком виде секции поступают в компаундировку. Процесс компаундировки обмотки — важная и ответственная операция. Компаундировка обмотки происходит в котле с паровым подогревом. Компаундная установка состоит из двух котлов, сообщающихся между собою. В одном из котлов находится

компаундная масса, а в другом происходит компаундирование.

Мы выше указывали, что если в пазу обмотки между витками останутся свободные пространства, то в них попадает влажный воздух. Под влиянием электрического поля этот влажный воздух ионизируется, т. е. частицы влаги, находящиеся в воздухе распадаются на составные элементы, которые образуют новые соединения, разрушающе действующие на изоляцию витков обмотки и приводящие к замыканию витков и пробою изоляции. Поэтому необходимо эти пустоты заполнять. Процесс компаундировки

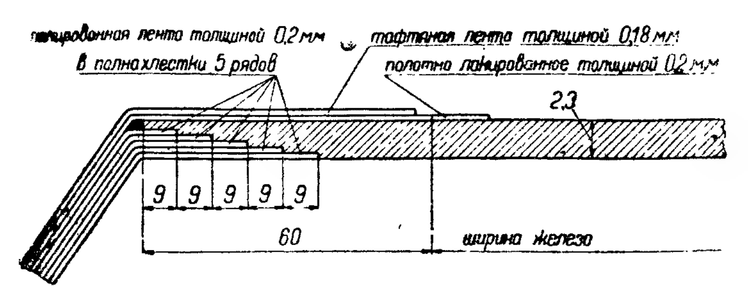


Рис. 40. Разрез угла секции, омиканиченной по способу AEG.

преследует именно эту цель: удаление влаги и заполнение изоляционным веществом пустот между витками.

Обмотка, загруженная в котлы, подвергается сначала сушке (два часа) под вакуумом при температуре 90—100°С, после чего под давлением трех-четырех атмосфер в изоляцию обмотки и между витков вгоняется компаундная масса. Компаундная масса состоит из асфальтов и других примесей, не окисляющих медь и не разжижающихся при температуре ниже 100° С. Пропитанные секции очищаются от массы, и с них снимается ранее намотанная тафтяная лента. Далее секции снова рихтуются в специальных шаблонах и уже потом покрываются изоляцией, как пазовая часть, так и лобовая. Эти операции придают шаблонам обмотки монолитность и твердость.

На заводе „Электросила" для двигателей серии R/6 принят метод фирмы AEG изоляции пазовой и лобовой частей после компаундировки, при котором для уничтожения „воздушных мешков" в месте перехода от пазовой части к лобовой изоляция кладется уступами; при этом пазовая

„часть (миканитовая опрессовка) оканчивается внутренним конусом“.

Представленный на рис. 40 разрез обмотки на углу (переход от пазовой части к лобовой) поясняет сказанное. Если не делать „конуса“, то получится угол обмотки, показанный на рис. 41 (такой метод применялся для некоторых машин серии R/4 с американской обмоткой). Последовательность слоев изоляции показана на рис. 42.

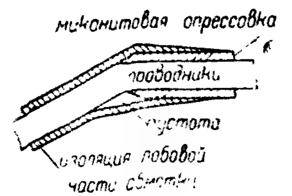


Рис. 41. Разрез угла омиканиченной секции, ранее применявшейся на заводе „Электросила“.

Несмотря на громадные преимущества американской обмотки по сравнению с гильзовой изоляцией катушечной обмотки, указанный „конус“ имеет большой недостаток.

Дело в том, что для того, чтобы не сползала с угла изоляция, ее приходится проклеивать шеллаком или каким-либо другим изоляционным склеивающим веществом. Но мы знаем, что эти вещества гигроскопичны, поэтому эта часть

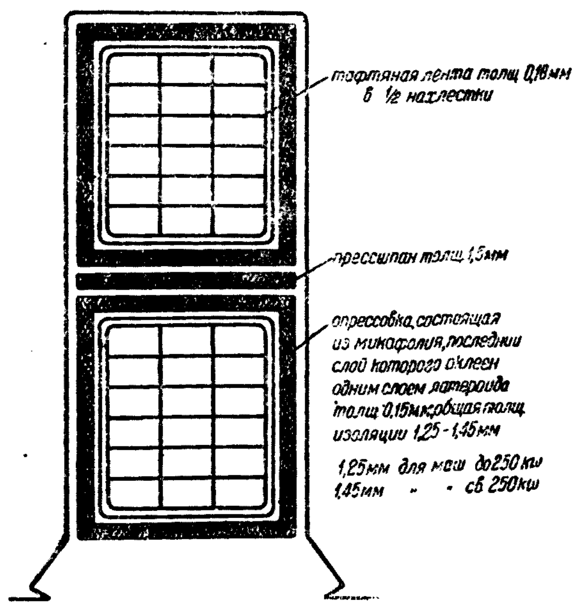


Рис. 42. Разрез паза.

обмотки, самая ответственная в отношении пробоя, получается как бы отсыревшей и неплотной. После вкладывания обмотки в пазы в случае изменения расстояния *B* (рис. 31 и 36) или даже при сохранении его во время испытания получается переброс на корпус с обмотки, т. е. скользящий разряд (дуга), который ведет к пробою обмотки в этом месте. Это особенно часто имеет место для машин с рабочим напряжением 6000 V. Поэтому для этих машин железо и статорные кольца покрываются перед укладкой лаком воздушной сушки путем пульверизации (армалаком). В силу этих недостатков необходим переход на непрерывную изоляцию, которая кроме этого дает еще возможность механизировать процесс изоляции.

Принципиальной разницы в изоляции машин на 6000 V по сравнению с 3000 V нет, поэтому мы на них не останавливаемся.

После намотки и соединения статорной обмотки статор должен быть просушен и покрыт наружным лаком воздушной сушки.

г) Пропитка машин.

Целью пропитки обмоток машин ставится следующее. Всякое волокнистое вещество, которое употребляется в качестве изоляции в машине (пряжа, нитки, хлопчатобумажные ленты, бумага изоляционная и т. д.), имеет поры, капилляры (невидимые глазом тонкие трубочки), которые всасывают влагу из окружающего воздуха. Уменьшить эти поры, закупорить их изоляционным веществом является целью пропитки. Кроме того иногда от изоляции машины по условиям ее работы требуется противосыростность, противокислотность и т. д., что тоже до известной степени достигается пропиткой специальными лаками или другими веществами. Отсюда ясно, что нужно при пропитке как можно лучше закрыть поры и покрыть наружную поверхность частей машины (обмоток) защитным слоем, создавая изоляционную непрерывную пленку из лака. Перед пропиткой обмотки должны быть хорошо высушены, чтобы удалить влагу (испарением) из пор изоляции. Иногда сушку производят под вакуумом для ускорения и надежности удаления влаги. Но необходимо указать, что сушку производить при любой температуре нельзя, так как волокнистые вещества изоляции могут обуглиться, поэтому рекомендуется (как макси-

мум) температура 90—100° С. Время сушки также не произвольно. В зависимости от легкости удаления влаги дается определенное время сушки. В случае, если обмотки машины компактно уложены в железо и свободной остается лишь небольшая поверхность, приходится сушить дольше. Обычно после сушки изоляция проверяется на меггер (прибор, измеряющий сопротивление изоляции). Показание меггера в нагретом состоянии статора или ротора (температура 60—70° С) должна быть примерно от 15 до 50 мегоом, что указывает на хорошую сушку. После этого можно произвести пропитку. Пропитка в заводских условиях обычно происходит купанием в лаке (вернее—в растворе лака).

У нас распространен лак „стандарт" № 319 (завода „Красный маляр") и „американский" лак (ХЭМЗа) № 458. Состав для пропитки этими лаками таков: на одну весовую часть лака берется 0,75 весовых частей бензина первого сорта (удельный вес 0,73) и весовая часть бензола. Удельный вес раствора должен быть 0,81—0,82. Нужно иметь в виду, что раствор весьма огнеопасен, и поэтому пропитка должна производиться очень осторожно. В случае когда невозможно купать пропитываемую часть, то ее обливают лаком или применяют пульверизацию, но при обязательном условии очень хорошей и надежной вытяжки паров бензола, которые являются весьма опасными для здоровья. После пропитки обрабатываемую часть подвергают дальнейшей сушке. Время сушки зависит от быстроты высыхания лака при определенной температуре. Указанный нами лак № 319 высыхает за четыре-шесть часов при температуре 100—108° С. Но шести часов бывает недостаточно, так как мы указывали, что быстрота сушки зависит от компактности частей, поэтому сушат десять-пятнадцать часов.

Все без исключения обмотки машины должны быть покрыты наружным покрывным лаком. Дело в том, что пропитывающие лаки более тонкие, и они хорошо проникают в капилляры, но не создают достаточно крепкой поверхностной пленки, что достигается покрытием специальными наружными лаками воздушной сушки (армалаком). Эти лаки—асфальтовые или спиртовые—быстросохнущие (два часа на воздухе). Усиленная изоляция в отношении противосыростности достигается многократной (два-три раза) пропиткой и сушкой. Противокислотность достигается путем покрытия специальными лаками.

Подвергать пропитке можно не все обмотки. Не нужно

пропитывать обмотанный статор с омиканиченной обмоткой, ибо это только ухудшает изоляцию. В нашем случае все машины до 500 V пропитываются и покрываются наружным лаком. Последнее делается путем пульверизации. Обмотки свыше 500 V, т. е. 2000, 3000 и 6000 V, с компаундированной и омиканиченной обмоткой только сушатся и покрываются наружным лаком. Роторы с изоляцией из бакелитовой бумаги пропитываются и пульверизируются. После пропитки все места у ротора, на которые будут насаживаться втулки, буксы и т. п., должны быть освобождены от лака тотчас же после пропитки (смывание бензином второго сорта). Необходимо сказать, что пропитыванием невозможно достигнуть абсолютной противосыростности изоляции, как это полагают некоторые.

Мы разобрали заготовку секций американской обмотки и ее изоляцию. Следующая по технологическому процессу операция—вкладка секций обмотки—не представляет никаких особых затруднений. Укажем, что чем меньше диаметр расточки статора, чем больше шаг и больше длина железа, тем труднее производить укладку секций. В этом случае необходимо до укладки хорошо отрихтовать по шаблону секцию, чтобы стороны ее были по радиусу, а лобовые части не лежали выше железа, ибо в последнем случае при сборке машины возможно сдирание изоляции. В случае низковольтных машин особое внимание должно быть обращено при укладке на углы обмотки, т. е. на места выхода обмотки из паза. Обычно здесь изоляцию необходимо усилить добавочным слоем эксцельсиора или прессшпана. Края железа нужно хорошо запилить. Как в случае низковольтных, так и высоковольтных машин паз статорного железа должен быть гладким, не иметь заусениц и отдельных выступов, чтобы не испортить изоляции секции при укладке. Не рекомендуется особенно колотить обмотку, так как это может привести к витковому короткому, в особенности в лобовых частях, где правильность рядов нарушается благодаря постоянному изгибанию, например в течение процесса изоляции. Обмотка крепится в пазу деревянными, пропитанными в олифе клиньями. Эти клинья должны быть хорошо пригнаны по „ласточкину хвосту" паза. В некоторых машинах, в особенности для обмоток с большими вылетами лобовых частей, ставится, кольцо (рис. 31) из трубки для крепления обмотки, что дает также возможность правильно и равномерно по всей окружности расположить лобовые части.

д) Соединение американской обмотки.

Мы говорили выше о преимуществах американской обмотки по сравнению с катушечной обмоткой впротяжку. Если же взять и сравнить американскую и катушечную обмотки в отношении практического исполнения соединений, то преимущества безусловно на стороне катушечной. Большое количество спаев в американской обмотке—серьезный недостаток ее. Пайка—серьезная операция, требующая внимания рабочего, и кроме того для нее необходим дорогой дефицитный материал—олово. Правда, ведутся работы по замене пайки сваркой (электрической, стыковой), но пока для больших машин приходится паять оловом. Схемы соединения дадим ниже при описании типа PRV 246.

VI. НОВЕЙШИЕ СОВЕТСКИЕ ТИПЫ АСИНХРОННЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.

Рассмотренная нами серия R/6 завода „Электросила" по своим данным значительно шагнула вперед в технике электромашиностроения, но все же она стоит по качеству ниже, чем заграничные двигатели. Кроме того она не могла удовлетворить всем требованиям единой всесоюзной серии асинхронных двигателей трехфазного тока. Поэтому в самое последнее время в ВЭО разработана новая всесоюзная серия АТ. Эта серия стоит на уровне современной техники и вводится в настоящее время на советских заводах электромашин, в частности на заводе „Электросила". В основном эта серия по своим принципам не отличается от разобранной серии R/6, но благодаря применению другой системы вентиляции нагрузка активных материалов допущена выше и соответственный расход их меньше. За неимением производственных данных серия АТ здесь не разбирается.

В серии АТ отдельные типы двигателей не отвечают все же современным требованиям; вследствие этого заводом „Электросила" (группа молодых инженеров ОБИСа) предложен и принят в настоящее время тип АШ; двигатели этого типа по использованию материалов как активных, так и неактивных, стоят выше всех существующих в мире двигателей—это самый легкий в мире двигатель (эксплоатационная надежность еще пока не проверена). Но техника электромашиностроения в отношении производства этих двигателей не стоит на должной высоте.

В плане второй пятилетки электромашиностроительных заводов, в частности завода „Электросила", эти вопросы выдвигаются на первый план. В пятилетнем плане зовода „Электросила" основными положениями являются следующие:

а) Специализация завода, в основу которой положен принцип концентрации в производстве только тех изделий, габариты которых в наибольшей степени соответствуют оборудованию и площадям завода.

б) Установление наиболее жесткой специализации в смысле сведения до минимума числа отдельных типов и исполнения изготавливаемых изделий и объединение значительного количества машин в серии.

в) Максимальное использование существующих крупных зданий и сооружений и вынесение мелких производств в низкие и дешевые помещения.

На этой основе разработан план реконструкции завода, сущность которого сводится к наиболее рациональному размещению отдельных производств.

Только при действительно практическом осуществлении указанных нами положений возможно будет советское электромашиностроение поставить в первые ряды советского машиностроения.

VII. АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ ТИПА 246 МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ СЕРИИ ЗАВОДА „ЭЛЕКТРОСИЛА".

Не имея возможности разбирать двигатели всей серии R/6, тем более, что целью книги является стремление поделиться опытом производства нового типа двигателя в одном из цехов завода, рассмотрим тип R-PRV 246 как типичный в некоторых отношениях для всей серии двигателей.

Отличительные черты типа R-PRV 246 от других больших типов заключается главным образом в конструктивном оформлении (не считая конечно размеров) отдельных частей двигателя. Во всех типах выше типа 246 корпуса и роторы сварные, в то время как в типе 246 роторы несварные, а корпуса в большинстве случаев литые чугунные. Последнее не значит, что корпус типа 246 не может быть изготовлен сварным. Литые корпуса применены были только потому, что пока на рынке имеется недостаток металлов листового железа требуемых размеров. Мы на этом типе останавливаемся еще потому, что двигатели в пределах от 100 до 250 kW в настоящее время требуются промышленностью в большом количестве и становятся массовой продукцией.

Таблица 12.

Данные двигателей типа 246 серии R/6 для открытого и закрытого исполнения (PRV).

Номинальная мощн. электродвигателя		Коэфициент полезного действия при номинальной мощности				cos φ при номинальной мощности				Выполняются для напряжений статора в V	Максимальное напряжение на роторе в V	Сила тока в роторе в A	Минимальный воздушный зазор односторонний в мм	Исполнение в типах			
		Синхронное число оборотов в минуту				Синхронное число оборотов в минуту								Синхронное число оборотов			
kW	л. с. приблиз.	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600					1500	1000	750	600
100	136	0,92	0,915	0,91	0,90	0,9	0,88	0,87	0,84	127/220, 220/380, 500 и 3000	346	256	У двигателей на 1500 об/мин δ = 1,3; 1000 „ δ = 1,0; 750 „ δ — 1,0; 600 „ δ — 0,8	—	2461	2461	246п
132	180	0,925	0,92	0,915	—	0,91	0,89	0,88	—	127/220, 220/380, 500 и 3000	344	279		2461	2461	246п	—
175	238	0,925	0,925	—	—	0,91	0,89	—	—	220/380, 500, 3000	398	275		2461	246п	—	—
(132)	180	0,925	0,925	—	—	0,91	0,89	—	—	для 6000	496	240		2461	246п	—	—
(200)	272	0,93	—	—	—	0,91	—	—	—	для 6000	496	240		246п	—	—	—
230	313	0,93	—	—	—	0,91	—	—	—	220/380, 500, 3000	496	277		246п	—	—	—

Примечание. Для исполнения PRV мощность понижается при 1000 и 750 об/мин на 10% (для мощностей в скобках на 5%), при 600 об/мин на 20% (для мощностей в скобках на 15%), при 1500 об/мин мощность сохраняется.

Таблица 13.

Часть	Наименование	PRV 246n — 1,500, 230 kW			
		220/380	500	3 000	6 000
Статор	Электрические данные	614 (B)	614 (C)	614 (D)	614 (E)
	Внешний диаметр (*мм*)	650	650	650	650
	Диаметр расточки (*мм*)	450	450	450	450
	Длина железа с воздушным каналом (*мм*)	470	470	470	470
	Число воздушных каналов	7	7	7	7
	Ширина воздушных каналов (*мм*)	10	10	10	10
	Число пазов	60	60	60	60
	Размеры паза см. таблицу 14	—	—	—	—
	Число пазов на полюс и фазу	5	5	5	5
	Число проводников в пазу	(4×4)×2	(5×2)×2	(8×2)×2	16×2
	Размеры проводника без изоляции и с изоляцией (*мм*)	4,4×1,56 / 4,5×1,95	3,8×2,83 / 4,2×3,23	3,8×1,81 / 4,2×2,2	3,28×1,56 / 3,78×2,06
	Длина полувитка (*мм*)	960	990	1 045	1 065
	Вес меди (*кг*)	113/118	114/118	123/129	93/39
	Шаг обмотки	1—13	1—13	1—13	1—13
	Соединение	4 гр.	4 гр.	Последов.	Последов.
	Сопряжение фаз	Y/Δ	Y	Y	Y
	Просвет между шаблонами (*мм*)	2,5	3,5	4,5	5,5
	Изоляция паза (*мм*)	1,0	1,0	1,8	2,25
Ротор	Внешний диаметр (*мм*)	447,4	447,4	447,4	447,4
	Внутренний диаметр вала (*мм*)	140	140	140	140
	Длина железа (*мм*)	470	470	470	470
	Число воздушных каналов	7	7	7	7
	Ширина воздушных каналов (*мм*)	10	10	10	10
	Число пазов	78	78	78	78
	Размеры паза см. таблицу 14	—	—	—	—
	Число пазов на полюс и фазу	6,5	6,5	6,5	6,5
	Число проводников в пазу	2	2	2	2
	Размеры проводника (*мм*)	5,5×14	5,5×14	5,5×14	5,5×14
	Вес меди (*кг*)	100	100	100	100
	Соединение	Последов.	Последов.	Последов.	Последов.
	Сопряжение фаз	Y	Y	Y	Y
	Воздушный зазор (*мм*)	1,3	1,3	1,3	1,3

PRV 2461—1 500, 175 kW				PRV 2461—1 500, 132 kW			
220/380	500	3 000	6 000	127/220	220/380	500	3 000
613 (B)	613 (C)	613 (D)	613 (E)	612 (A)	612 (B)	612 (C)	612 (D)
650	650	650	650	650	650	650	650
450	450	450	450	450	450	450	450
370	370	370	370	270	270	270	270
5	5	5	5	3	3	3	3
10	10	10	10	10	10	10	10
60	60	60	60	00	60	60	60
—	—	—	—	—	—	—	—
5	5	5	5	5	5	5	5
(5×2)×2	(7×2)×2	10×2	22×2	(4×4)×2	(7×2)×2	9×2	14×2
3,8×2,83 / 4,2×3,23	3,8×2,1 / 4,2×2,5	3,8×2,83 / 4,2×3,23	3,28×1,15 / 3,78×1,66	4,4×1,56 / 4,8×1,96	3,8×2,1 / 4,2×2,5	4,4×2,83 / 4,8×3,23	3,8×2,1 / 4,2×2,5
860	890	945	970	770	770	770	845
99/103	107/111	109/113	87/94	91/95	92/96	96/99	101/105
1—13	1—13	1—13	1—13	1—13	1—13	1—13	1—13
4 гр.	4 гр.	Последов.	Последов.	4 гр.	4 гр.	4 гр.	—
Y/△	Y	Y	Y	Y/△	Y/△	Y/△	Y
3,5	2,5	4,5	5,5	2,5	2,5	2,5	4,5
1,0	1,0	1,8	2,25	1,0	1,0	1,0	1,8
447,4	447,4	447,4	447,4	447,4	447,4	447,4	447,4
140	140	140	140	140	140	140	140
370	370	370	370	270	270	270	270
5	5	5	5	3	3	3	3
10	10	10	10	10	10	10	10
78	78	78	78	78	78	78	78
—	—	—	—	—	—	—	—
6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
2	2	2	2	2	2	2	2
5,5×14	5,5×14	5,5×14	5,5×14	5,5×14	5,5×14	5,5×14	5,5×14
90	90	90	90	79	79	79	79
Последов.	Последов.	Последов.	Последов.	Последов.	Последов.	Последов.	Последов
Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

Часть двигателя	Наименование	PRV 246n — 1000, 157,5 kW			
		220/380	500	3 000	6 000
Статор	Электрические данные	623 (B)	623 (C)	623 (D)	623 (
	Внешний диаметр (*мм*)	650	650	650	650
	Диаметр расточки (*мм*)	450	450	450	450
	Длина железа с воздушным каналом (*мм*)	470	470	470	470
	Число воздушных каналов	7	7	7	7
	Ширина воздушных каналов (*мм*)	10	10	10	10
	Число пазов	72	72	72	72
	Размеры паза см. таблицу 14	—	—	—	—
	Число пазов на полюс и фазу	4	4	4	4
	Число проводников в пазу	(7×2)×2	(9×2)×2	10×2	20×2,
	Размеры проводника без изоляции / и с изоляцией (*мм*)	3,28×2,1 / 3,68×2,5	3,28×1,56 / 3,68×1,96	5,9×1,56 / 6,3×1,96	2,1×1, / 2,68×2,
	Длина полувитка (*мм*)	845	875	940	1 015
	Вес меди (*кг*)	105/110	103/109	112/117	99/106
	Шаг обмотки	1—11	1—11	1—11	1—11
	Соединение	6 гр.	6 гр.	—	—
	Сопряжение фаз	Y/Δ	Y	Y	Y
	Просвет между шаблонами (*мм*)	2,5	3,5	4,5	5,5
	Изоляция паза (*мм*)	1,0	1,0	1,8	2,25
Ротор	Внешний диаметр (*мм*)	448	448	448	448
	Внутренний диаметр вала (*мм*)	140	140	140	140
	Длина железа (*мм*)	470	470	470	470
	Число воздушных каналов	7	7	7	7
	Ширина воздушных каналов (*мм*)	10	10	10	10
	Число пазов	90	90	90	90
	Размеры паза см. таблицу 14	—	—	—	—
	Число пазов на полюс и фазу	5	5	5	5
	Число проводников в пазу	2	2	2	2
	Размеры проводника (*мм*)	4,5×12,5	4,5×12,5	4,5×12,5	4,5×12
	Вес меди (*кг*)	71	71	71	71
	Соединение	Последов.	Последов.	Последов.	Последо
	Сопряжение фаз	Y	Y	Y	Y
	Воздушный зазор (*мм*)	1,0	1,0	1,0	1,0

PRV 2461 — 1000, 119 kW				PRV 246i — 1000, 90 kW			
127/220	220/380	500	3 000	127/220	220/380	500	3 000
622 (A)	622 (B)	622 (C)	622 (D)	621 (A)	621 (B)	621 (C)	621 (D)
650	650	650	650	650	650	650	650
450	450	450	450	450	450	450	450
370	370	370	370	270	270	270	270
5	5	5	5	3	3	3	3
10	10	10	10	10	10	10	10
72	72	72	72	72	72	72	72
—	—	—	—	—	—	—	—
4	4	4	4	4	4	4	4
(4×5)×2	(9×2)×2	(6×2)×2	12+2	(7×2)×2	(6×2)×2	(8×2)×2	16×2
$\frac{3,28\times1,35}{3,68\times1,75}$	$\frac{3,28\times1.56}{3,68\times1,96}$	$\frac{3,28\times2,44}{3,68\times2,84}$	$\frac{2,83\times1,35}{3,23\times1,75}$	$\frac{3,88\times2,1}{3,68\times2,5}$	$\frac{3,28\times2,44}{3,66\times2,84}$	$\frac{3,28\times1,81}{3,68\times2,21}$	$\frac{2,83\times2,1}{3,23\times2,5}$
740	740	805	840	650	650	680	740
84/89	87/92	99/106	96/102	81/85	80/89	83/87	90/95
1—11	1—11	1—11	1—11	1—11	1—11	1—11	1—11
6 гр.	6 гр.	3 гр.	Последов.	6 гр.	3 гр.	3 гр.	После
⅄/Δ	⅄/Δ	⅄	⅄	⅄/Δ	⅄/Δ	⅄	⅄
2,5	2,5	3,5	4,5	2,5	2,5	3,5	4,5
1,0	1,0	1,0	1,8	1,0	1,0	1,0	1,8
448	448	448	448	448	448	448	448
140	140	140	140	140	140	140	140
370	370	370	370	270	270	270	270
5	5	5	5	3	3	3	3
10	10	10	10	10	10	10	10
90	90	90	90	90	90	90	90
—	—	—	—	—	—	—	—
5	5	5	5	5	5	5	5
2	2	2	2	2	2	2	2
4,5×12,5	4,5×12,5	4,5×12,5	4,5×12,5	4,5×12,5	4,5×12,5	4,5×12,5	4,5×12,5
62	62	62	62	53	53	53,5	53,5
Последов.	Последов.	Последов.	Последов.	Последов.	Последов.	Последов.	Последов.
⅄	⅄	⅄	⅄	⅄	⅄	⅄	⅄
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Часть двигателя	Наименование	PRV 246n — 750, 119 kW			
		127/220	220/38	500	3 000
Статор	Электрические данные	631 (A)	631 (B)	631 (C)	631 (D)
	Внешний диаметр (*мм*)	650	650	650	650
	Диаметр расточки (*мм*)	500	500	500	500
	Длина железа с воздушным каналом (*мм*)	370	370	370	370
	Число воздушных каналов	5	5	5	5
	Ширина воздушных каналов (*мм*)	10	10	10	10
	Число пазов	72	72	72	72
	Размеры паза см. таблицу 14	—	—	—	—
	Число пазов на полюс и фазу	3	3	3	3
	Число проводников в пазу	(9×2)×2	(4×2)×2	(5×2)×2	16×2
	Размеры проводника без изоляции и с изоляцией (*мм*)	3,8×1,56 / 4,2×1,96	3,8×3,28 / 4,2×3,68	3,8×2,44 / 4,2×2,84	3,8×1,56 / 4,2×1,96
	Длина полувитка (*мм*)	670	670	690	750
	Вес меди (*кг*)	91/95	86/88	82/85	90,5/95
	Шаг обмотки	1—8	1—8	1—8	1—8
	Соединение	8 гр.	2 гр.	2 гр.	2 гр.
	Сопряжение фаз	Λ Δ	Λ Δ	Λ	Λ
	Просвет между шаблонами (*мм*)	2,5	3,5	3,5	4,5
	Изоляция паза (*мм*)	1,0	1,0	1,0	1,8
Ротор	Внешний диаметр (*мм*)	498	498	498	498
	Внутренний диаметр вала (*мм*)	140	140	140	140
	Длина железа (*мм*)	470	470	470	470
	Число воздушных каналов	7	7	7	7
	Ширина воздушных каналов (*мм*)	10	10	10	10
	Число пазов	96	96	96	96
	Размеры паза см. таблицу 4	—	—	—	—
	Число пазов на полюс и фазу	4	4	4	4
	Число проводника в пазу	2	2	2	2
	Размеры проводника (*мм*)	4,5×12,5	4,5×12,5	4,5×12,5	4,5×12,5
	Вес меди (*кг*)	61,5	61,5	61,5	61,5
	Соединение	Последов.	Последов.	Последов.	Последов.
	Сопряжение фаз	Λ	Λ	Λ	Λ
	Воздушный зазор (*мм*)	1,0	1,0	1,0	1,0

Продолжение

PRV 2461 — 750, 90 kW				PRV 246n—600, 80 kW			
127/220	220/380	500	3 000	127/280	220/380	500	3 000
622 (A)	632 (B)	632 (C)	632 (D)	—	—	—	641 (D)
450	650	650	650	650	650	650	650
500	500	500	500	—	—	—	470
470	470	470	470	—	—	—	470
7	7	7	7	—	—	—	7
10	10	10	10	—	—	—	10
72	72	72	72	—	—	—	90
—	—	—	—	—	—	—	
3	3	3	3	—	—	—	3
(7×2)×2	(6×2)×2	8×2	12×2	—	—	—	11×2
$\frac{3,8\times1,81}{4,2\times2,21}$	$\frac{3,8\times2,1}{4,2\times2,5}$	$\frac{3,8\times3,28}{4,2\times3,68}$	$\frac{3,8\times2,1}{4,2\times2,5}$	—	—	—	$\frac{5,1\times1,16}{53,4\times1,46}$
780	780	790	850	—	—	—	822
97/101	96/100	101/106	105/109	—	—	—	86/89
1—8	1—8	1—8	1—8	—	—	—	1—9
—	—	—	—	—	—	—	Последов.
Y/Δ	Y/Δ	Y	Y	—	—	—	Y
2,5	2,5	3,5	4,5	—	—	—	4,5
1,0	1,0	1,0	1,8	—	—	—	1,4
498	498	498	498	—	—	—	498,4
140	140	140	140	—	—	—	—
370	370	370	370	—	—	—	470
5	5	5	5	—	—	—	7
10	10	10	10	—	—	—	–
96	96	96	96	—	—	—	120
—	—	—	—	—	—	—	—
4	4	4	4	—	—	—	4
2	2	2	2	—	—	—	2
4,5×12,5	4,5×12,5	4,5×12,5	4,5×12,5	—	—	—	4×11,5
61,5	71	71	71	—	—	—	71
Последов.	Последов.	Последов.	Последов.	—	—	—	Последов.
Y	Y	Y	Y	—	—	—	Y
1,0	1,0	1,0	1,0	—	—	—	0,8

Таблица 14 (рис. 43).

Электрические данные		614 (B)	614 (C)	614 (D)	614 (E)	614 (B)	613 (C)	613 (D)	612 (E)	612 (A)	612 (B)	612 (C)	614 (D)
Размеры паза: статора	высота *мм*	41	41	46	46	41	41	46	51	41	41	41	46
	ширина „	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Размеры паза: ротора	высота *мм*	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	ширина „	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,2	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5

Электрические данные		623 (B)	623 (C)	623 (D)	623 (E)	622 (A)	622 (B)	622 (C)	622 (D)	622 (B)	621 (C)	621 (D)	—
Размеры паза: статора	высота *мм*	41	41	51	61	41	41	41	51	41	41	51	—
	ширина „	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	—
Размеры паза: ротора	высота *мм*	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	—
	ширина „	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	—

Электрические данные		631 (A)	631 (B)	631 (C)	631 (D)	632 (A)	632 (B)	632 (C)	632 (D)	641 (D)	—	—	—
Размеры паза: статора	высота *мм*	41	41	41	41	41	41	41	41	42	—	—	—
	ширина „	11	11	11	12,5	11	11	11	12,5	9	—	—	—
Размеры паза: ротора	высота *мм*	29	29	29	29	29	29	29	29	29	—	—	—
	ширина „	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	—	—	—

Примечание. Указанные на эскизе размеры остаются неизменными по всем исполнениям типа PRV 246.

Отсюда понятно значение изучения их устройства и изготовления, как типичного серийного производства крупного машиностроения.

а) Основные данные двигателей типа 246 новой серии завода „Электросила".

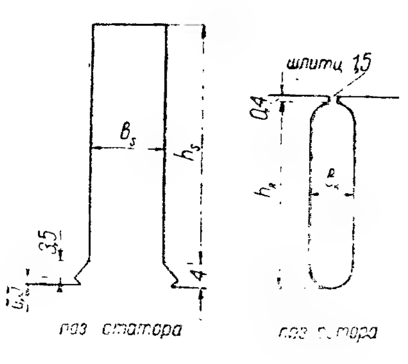


Рис. 43 (к таблице 14).

Двигатели типа 246 производятся в открытом и закрытом исполнениях, для напряжений, отвечающих нормам электрических установок. Мощность двигателей и основные данные даны в таблице 12.

Чтобы показать, как практически в этом типе отразились преимущества серии, позволяющие изготовлять такие двигатели серийно, приводим данные, собранные в таблице 13. Эти данные позволяют судить не только о выполнении двигателей, но также указывают на необходимое производственное оборудование, организацию производства и т. д.

б) Описание устройства двигателя.

Двигатель, типа 246 (R-PRV 246) является, как мы говорили, трехфазным асинхронным двигателем.

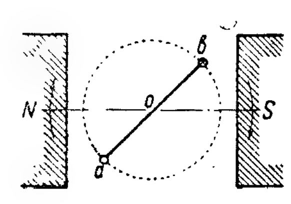


Рис. 44. Электромагнитная схема действия асинхронного двигателя.

Действие асинхронного трехфазного двигателя основано на взаимодействии вращающегося магнитного поля с током, который индуктируется этим полем в обмотке ротора. Поясним это.

На рис. 44 представлены два магнитных полюса N и S, в магнитном силовом поле которых находится замкнутый виток ab, могущий вращаться вокруг своей оси O.

Вращая магнитные полюсы, тем самым будем вращать и созданное этими полюсами магнитное поле. При этом силовые линии магнитного поля будут пересекать стороны витка, а благодаря этому пересечению в проводнике возникнет (бу-

дет индуктироваться) электродвижущая сила, и по проводнику пойдет электрический ток.

Как только в витке появится ток, немедленно вокруг витка создастся магнитное поле, причем в каждой данной точке оно будет противоположным полю магнита в этой же точке. Заменим теперь виток с током также магнитом, который расположится, как мы выяснили, так, что против положительного полюса S будет отрицательный полюс N, а против $S_1—N_1$ (рис. 44а); таким образом мы не изменим фактического положения.

Рис. 44а. Взаимодействие системы полюсов.

Пусть магнит NS начнет вращаться. Известно, что разноименные полюсы магнитов притягиваются; следовательно магнит $N_1 S_1$, притягиваемый магнитом NS, также начнет вращаться. Чем быстрее будет вращаться магнит NS, тем скорее будет вращаться и магнит $N_1 S_1$.

В таком же положении будет и виток ab (рис. 44), постоянно притягиваемый вращающимся магнитом.

Перейдем теперь к рассмотрению действительного положения в асинхронном двигателе.

Статор асинхронного двигателя представляет собой трехфазную обмотку. Фазы расположены друг относительно друга в пространстве (по окружности) на некотором расстоянии, и в каждой фазе в данный момент текут токи, отличающиеся друг от друга по силе и направлению. Силы и направление этих токов непрерывно меняются, проходя через ряд значений и возвращаясь в исходное положение.

Вокруг каждой фазы существует магнитное поле, усиливающееся и ослабляющееся с усилением и ослаблением тока. Предположим, что в фазе 1 ток равен нулю (0). Магнитное поле 1 также равно 0. В фазе 2 ток равен некоторому среднему значению a, и поле равно a. В фазе 3 ток максимальный — m и поле имеет максимальное значение m. Таким образом по окружности в точках *1*, *2* и *3* поле равно соответственно

$$0, \quad a \quad \text{и} \quad m.$$

Далее ток в фазе 1 стал равным m, в фазе 2 — 0, в фазе 3 — a. Магнитное поле также в точках *1*, *2* и *3* равно соответственно:

$$m, \quad 0 \quad \text{и} \quad a.$$

Дальше оно еще передвинется и будет:

a, m и 0,

а затем вновь возвратится к исходному:

0, a и m.

Таким образом мы видим, что поле будто бы вращается.

Ротор двигателя аналогичен витку ab (рис. 44). Обмотку ротора пересекает магнитный поток, и в обмотке индуктируется ток. Этот ток создает вокруг себя магнитное поле, противоположное магнитному полю статора. Оба поля взаимодействуют между собой, и так как поле статора вращается, то начинает вращаться и поле ротора вместе с ротором. Ясно, что ротор стремится вращаться со скоростью поля статора, но этого он никогда не достигает. В самом деле, если бы ротор стал вращаться с одинаковой с полем статора скоростью, тогда бы он перестал пересекать магнитные линии поля статора, и индуктированный в обмотке ротора ток, а с ним и поле ротора, исчезли бы. Ротор перестал бы притягиваться полем статора и начал бы останавливаться, т. е. скорость его вращения отличалась бы уже от скорости вращения поля статора. Обмотка ротора вновь пересекалась бы силовыми линиями поля статора, вновь в ней индуктировался бы ток, и вновь появилось бы поле ротора, которое начало бы взаимодействовать с полем статора: притягиваться им, а следовательно и вращаться, вращая весь ротор.

Таким образом ротор вращается всегда несколько медленнее поля статора. Без нагрузки это отставание будет весьма невелико и будет зависеть от трения в подшипниках, нагрева проводов и др., т. е. от механических и электрических потерь. При нагрузке отставание увеличится, и чем больше будет нагрузка, тем медленнее будет вращаться ротор, все больше и больше отставая от скорости поля статора.

Вот это отставание или, как говорят, скольжение ротора, вращение его не в такт с полем послужило тому, что такие электрические машины стали называть асинхронными (синхронно означает в такт, асинхронно — не в такт). В действительности в асинхронном трехфазном двигателе мы не имеем явно выраженных полюсов N—S, а имеем неподвижный статор, собранный из отдельных листов штампованного динамного железа, в пазы которого заложена обмотка, состоящая из отдельных катушек, а последние из некоторого числа витков.

Виток рис. 44, расположенный на барабане, в действительности представляет собою ротор, собранный из листов динамного, штампованного железа, в пазы которого также вложена обмотка. Никаких как будто бы „полюсов“ нет. Но каждая точка ротора и статора по окружностям является положительным или отрицательным полюсом. При детальном изучении трехфазного тока можно убедиться в том, что если питать трехфазным током систему трех катушек, расположенных одна от другой на 120°, то эти катушки вместе создают вращающееся двухполюсное магнитное поле. Таков принцип действия любого асинхронного трехфазного двигателя, а следовательно и разбираемого нами двигателя типа 246.

Теперь перейдем к обзору детального устройства двигателя. В типе 246 (рис. 45) катушки статора *1* выполнены по типу американской обмотки.

Обмотки ротора выполняют в типе 246 в виде двухслойной стержневой обмотки *2*, соединения и схемы которой дадим ниже. Для того, чтобы магнитное поле, создаваемое катушками статора, было достаточной силы, иначе говоря, чтобы получить требуемую магнитную индукцию, необходимо эти катушки вложить таким образом, чтобы магнитные линии встречали возможно меньшее сопротивление (магнитное сопротивление). С этой целью железо статора и ротора, т. е. путь, по которым проходят силовые магнитные линии, выбирают с большой магнитной проводимостью (проницаемостью), так называемое динамное. Железо статора F_s собирается в корпусе *3*, в данном случае чугунном. Как видно из чертежа, это железо стягивается двумя статорными кольцами *4* и *5*. Железо ротора собирается на валу *6* и удерживается в определенном спрессованном состоянии шайбами, обмоткодержателями O_1 и O_2, литыми чугунными. Далее, ротор, вращаясь, не должен задевать за железо статора, для чего между железом статора и железом ротора должен оставаться воздушный зазор, равномерный по всей окружности. Мы говорили, что силовые магнитные линии статора пересекают обмотку ротора (ее проводники), следовательно по воздушному зазору проходят магнитные линии. Воздух является плохим проводником магнитных линий. Поэтому воздушный зазор должен быть по возможности малым; в асинхронных двигателях его допускают до 2—2,5 *мм*. Для того, чтобы, вращаясь, ротор не задевал за железо статора и чтобы зазор оставался постоянным и равномерным по всей окружности, ротор вра-

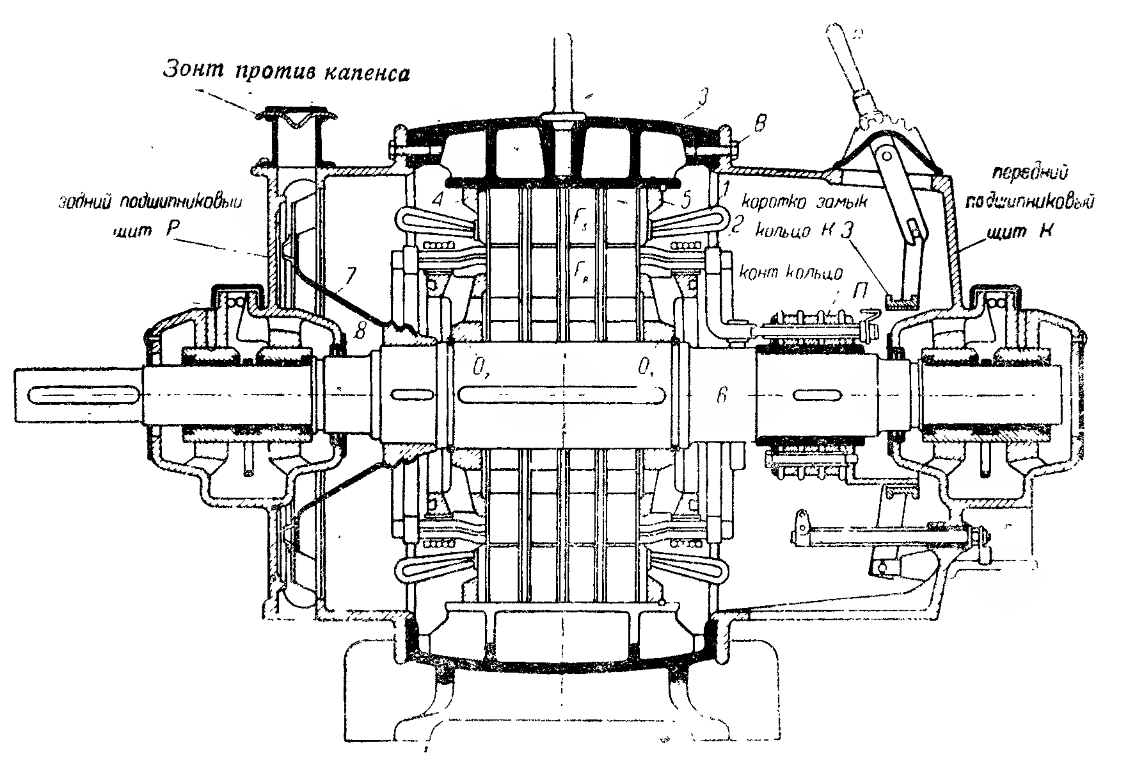


Рис. 45. Разрез асинхронного трехфазного двигателя типа PRV 246i — 1500.

щается во втулках подшипников, а последние в подшипниках P и K, которые крепятся неподвижно к корпусу болтами B. Для того, чтобы при ослаблении болтов подшипники, неся тяжесть ротора, не могли осесть, и для того, чтобы легче было отцентровать ротор по отношению статора, иначе говоря, выверить зазор, подшипники имеют замок. Для того, чтобы подшипники при вращении не грелись, их нужно смазывать. Для смазки в буксе подшипника сделана масляная камера, куда наливается машинное масло и откуда это масло подается на вал смазочным кольцом. Двигатель, являясь преобразователем электрической энергии в механическую, имеет потери; не вся подводимая мощность P_1 тратится в механическую энергию на валу двигателя, а только некоторая ее часть — P_2. Разность энергии ($P_1 - P_2$) составляет потери двигателя. Выше было разобрано, из чего складываются эти потери. Благодаря этим потерям часть энергии превращается в тепло, нагревает части двигателя (обмотки статора, ротора, железа статора и ротора и т. д.). Для охлаждения этих частей на вал двигателя насаживают вентилятор 7, который засасывает воздух из-под подшипника K, прогоняет его по каналам, сделанным в железе статора и ротора, и выбрасывает уже нагретый воздух в окно, сделанное в подшипнике P.

Витки ротора могут быть замкнутыми, тогда получим ротор с короткозамкнутой обмоткой. Но из теории асинхронных двигателей известно, что при пуске такого двигателя в ход в начальный момент двигатель потребляет большой, так называемый пусковой ток.

Этот пусковой ток может доходить в зависимости от мощности двигателя до пяти- шестикратного размера тока нормальной нагрузки. Потребление такого увеличенного тока не всегда допустимо по условиям устойчивости работы электрической сети, питающей двигатели. С целью снижения пускового тока пуск двигателя выше 100 kW чаще всего осуществляется через реостат, включаемый в цепь ротора. Поэтому обмотку ротора для двигателей свыше 100 kW чаще всего не выполняют короткозамкнутой, а делают ее подобно статорной (соединяют в звезду) и выводят концы к специальным, посаженным на вал ротора, контактным кольцам. От контактных колец посредством наложенных щеток ток ротора отводится в цепь реостата. После пуска в ход обмотка ротора может быть замкнута на короткое, что выполняется рычагом R, передвигающим короткозамыкаю-

щее кольцо *К3* на специальные пластины *П* контактного кольца.

Чтобы масло из подшипников не попадало на обмотку и внутрь машины, иначе говоря, чтобы добиться отсутствия засоса масла, как и в других машинах, в электродвигателе сделаны уплотняющие кольца *8*, называемые лабиринтами.

Для правильной циркуляции масла в подшипниках его должно быть в достаточном количестве. Для контроля за количеством масла в подшипниках ставятся маслоуказатели. Таков принцип действия двигателя типа 246 (по чертежу типа PRV 246), и таково назначение отдельных частей двигателя.

в) Устройство вентиляции двигателя.

Мы указывали, что двигатели в зависимости от условий работы выполняются или открытыми, или защищенными, или совершенно закрытыми. Как бы ни выполнялся двигатель, при работе благодаря потерям энергии в отдельных частях происходит нагрев частей машины.

В электрической машине бóльшая часть потерь приходится на активные материалы — железо и медь обмоток, и поэтому эти части сильнее других нагреваются. Нагрев может быть допущен до определенных величин. Потери электрической энергии в двигателе зависят от допущенной загрузки активных материалов, их качества и способа отвода теплоты от частей двигателя. Чем выше нагрузка материалов, тем больше будут потери и тем больший нагрев.

Но мы уже говорили, что современные двигатели тем и отличаются от старых, что в них дается повышенная нагрузка материалов с целью повышения их использования и тем самым снижения их веса. Параллельно с применением лучшего качества материалов современная техника электрического машиностроения идет и по другому пути: по пути улучшения и усиления вентиляции двигателей с целью максимального использования материалов.

При большой нагрузке активных материалов их нужно лучше охлаждать, чтобы обеспечить надежность в работе машины путем сохранения допустимых пределов нагревания частей. При устройстве вентиляции прежде всего играет весьма важную роль исполнение двигателя. В случае открытого типа охлаждение активных материалов (железа и меди) происходит путем теплоотдачи поверхности железа и обмоток, более нагретых, чем окружающий воздух.

Для усиления охлаждения на обмотке ротора ставятся вентиляционные пластины, которые создают циркуляцию воздуха и способствуют охлаждению главным образом лобовых частей обмотки статора. Известно, что неподвижная часть — статор находится в худших условиях охлаждения по сравнению с вращающимся ротором, поэтому на охлаждение статора должно быть обращено особое внимание.

В открытом типе, так же как и в других типах асинхронных двигателей, железо статора и ротора с целью лучшего равномерного охлаждения собирается отдельными пакетами шириною от 50 до 70 *мм.*

В случае закрытого типа двигателя рассмотренная система вентиляции будет недостаточна, поэтому устраивают иную систему вентиляции: не только естественную, но и искусственную, путем продувания двигателя охлаждающим воздухом.

Это продувание достигается различными способами. Первый способ, наиболее употребительный в настоящее время, применяемый в закрытых вентилируемых двигателях, заключается в том, что насаженный на вал ротора специальный вентилятор засасывает воздух с одной стороны машины, прогоняет его по вентиляционным каналам, устроенным в железе статора и ротора, и выбрасывает нагретый воздух наружу с другой стороны машины.

По этому способу вентиляции охлаждаются двигатели серии R/6 и в частности PRV 246. Схема этой системы вентиляции изображена на рис. 46. Основной недостаток этой системы вентиляции состоит в том, что сторона, с которой происходит засос воздуха, охлаждается лучше, нежели другая сторона машины, и охлаждение машины получается неравномерным. Кроме того при прохождении воздуха по каналам железа возникают относительно значительные потери на трение.

Эти недостатки особенно сказываются при длинных машинах.

С целью избежания недостатков описанной системы вентиляции в настоящее время в новых типах, кроме стремления по возможности уменьшить длину железа за счет увеличения диаметра, устраивают такую систему вентиляции, при которой благодаря особой конструкции подшипниковых щитов засос воздуха происходит с обеих сторон машины и, проходя далее радиально, омывает лобовые части обмотки и железо.

Наконец последняя система вентиляции, разработанная заводом „Электросила“, — сдвоенная система, дающая возможность повысить использование активных материалов и тем самым достигнуть уменьшения веса таковых. Двигатели, разработанные со сдвоенной системой вентиляции (тип АШ), являются самыми легкими двигателями в мире (см. материалы производственно-технического суда на заводе „Электросила“).

Двигатели типа PRV 246 выполняются с вентиляцией по первому способу. Насаженный со стороны шкива на вал

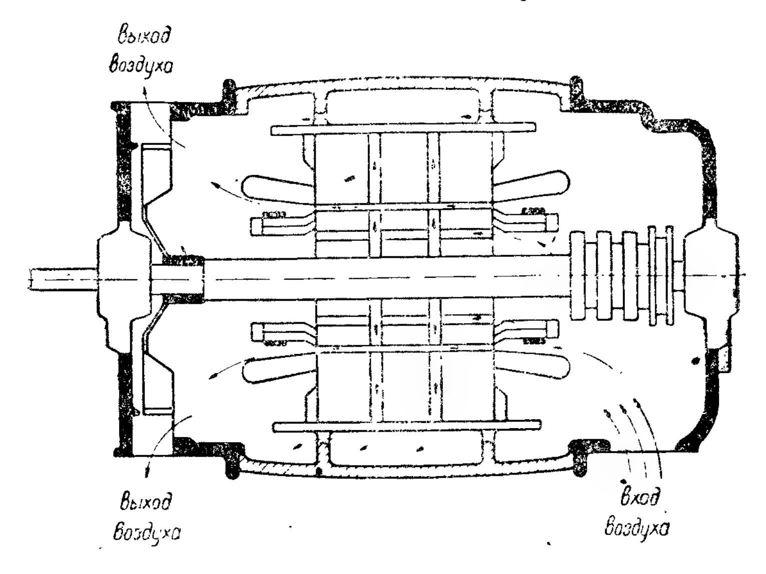


Рис. 46. Схема протяжной вентиляции.

ротора вентилятор засасывает воздух в окно щита *К*, прогоняет его через „сетку“ лобовой части обмотки статора, далее омывает наружную поверхность статора, для чего в корпусе (рис. 46) сделаны специальные каналы; часть воздуха идет по каналам в роторе вдоль оси, оттуда выбрасывается по вентиляционным каналам ротора и статора (радиально) в другую сторону машины, где воздух охлаждает обмотку статора и ротора только в меньшей степени, и уже отсюда выбрасывается наружу.

В отношении конструктивного выполнения вентиляторов в последнее время были попытки применить давленные взамен чугунных. Но за отсутствием листового железа и несовер-

шенства конструкции на некоторых типах ставятся чугунные буксы.

Какова бы ни была выбранная система вентиляции, для двигателей важно, чтобы она обеспечила при нормальной работе: 1) равномерное охлаждение всех частей машины, причем температура таковых не должна превышать допускаемых нормами температур, 2) интенсивность вентиляции должна обеспечивать максимальную загрузку материалов причем потери собственно на вентиляцию не должны быть велики, 3) вентиляция должна быть такова, чтобы она при работе двигателя находилась всегда в действии и не прерывалась.



Рис. 47. Корпус двигателя типа 246.

В двигателях типа PRV 246 указанные условия в значительной степени выполнены, но тем не менее улучшение безусловно требуется.

г) Главные детали двигателя типа 246 (закрытого с вентиляцией, т. е. PRV, так как двигатели в открытом исполнении выпускаются нами в очень незначительном количестве) и их обработка.

Корпус.

Корпуса двигателей типа PRV 246 — чугунные литые (рис. 47). Корпуса двигателей различных исполнений, т. е. PRV 246 *n* — 1500, PRV 246 *l* — 1500 и т. д. (таблица 12), имеют одинаковые расточки по ребрам (650 *мм*), расточку под замок подшипниковых щитов (730 *мм*) и отличаются лишь высотой, вернее, расстоянием между упором *l* (рис. 47) упорочного статорного кольца и выточкой *2* для шпонки нажимного статорного кольца. Необходимо отметить, что применение более широких (до 35 *мм*) ребер в типе 246 по сравнению с соответствующими машинами серии *R*/4 благо-

[illegible]рийтно отразилось на механической обработке. Сварные корпуса по весу для данного типа примерно одинаковы (около 250 кг).

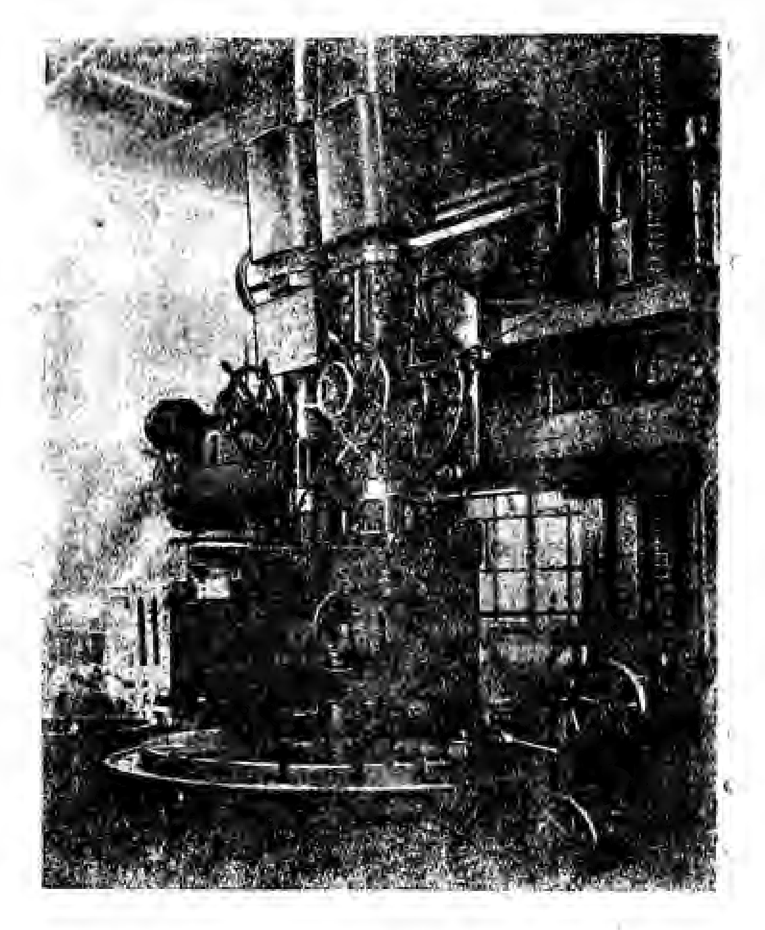


Рис. 48. Обточка корпуса на карусели.

Чугун литья корпусов в большинстве случаев ненормально крепок. Крепость нередко доходит до 250—300 по Бринелю, когда невозможно обрабатывать даже резцами с пластинами из твердых сплавов (победит, видий). Это объясняется исключительно неправильностью процесса отливки.

Корпуса, снятые со станка (после обточки на карусельном станке, рис. 48) с правильными размерами, через некоторое время при вторичной проверке имеют иные размеры. Чаще всего в замке образуется эллипс, реже по ребрам.

Изменение размеров объясняется тем, что после обточки благодаря „свежести“ чугуна происходит перераспределение частиц металла под влиянием внутренних напряжений. Поэтому заграничные заводы для более или менее точных и ответственных частей машин применяют специально выдержанное на складе чугунное литье. Конечно, это изменение размеров можно значительно уменьшить, если вести правильно термическую обработку деталей после отливки (отжиг, томление и т. д.), при крепости литья корпусов выше средней (180—200 по Бринелю), скорости резания на ребрах 20—30 *м*/мин (подача 0,85—1,3 *мм*, глубина 5 *мм*), на фланце 30—35 *м*/мин (подача 0,85—1,3 *мм*, глубина 8—10 *мм*). В заключение нужно сказать, что чугунные литые корпуса тяжелы и должны быть облегчены переходом на совершенные в конструктивном отношении сварные.

Вал.

Следующей ответственной частью двигателя является вал. От вала требуется, чтобы при нормальных оборотах и нормальной мощности на валу его механическая прочность была достаточно велика. Характерной величиной для правильности расчета и конструкции вала является его прогиб, который не должен превосходить определенных в каждом отдельном случае пределов. В типе 246 валы выполняются из сименс-мартеновской стали марки СТ-6 диаметром 150 *мм*. Для различных исполнений двигателей валы отличаются исключительно длиной железа (таблица 13), остальные же размеры всегда одинаковые. Это является большим преимуществом конструкции валов двигателей типа 246 в производственном отношении. Но с другой стороны валы, изготовленные из отрезов валовой стали, имеют и существенные недостатки. Дело в том, что чистые размеры вала по диаметру значительно все же разнятся от диаметра отреза. Это приводит к большому проценту превращения металла в стружку и затрате большого количества энергии на механическую обработку (таблица 15).

В среднем 75% отхода металла в виде стружки по отношению к чистому весу — недопустимая потеря. Вот почему сварные роторы, применяемые для всех типов серии R/6,

лежащих выше 246, дают несравненно больше экономии и преимуществ.

Таблица 15.

Тип двигателя	Вес вчерне *кг*	Чистый вес *кг*	Отход %
R-PRV 246 I	226	127	78
R-PRV 246 II	240	139	72,5
R-PRV 246 III	2[illegible]4	151	75

Подшипниковые щиты и втулки.

Подшипниковые щиты *P* и *K* (рис. 45) — чугунные литые у двигателей 246 — одинаковых размеров. Замок щита — 730 *мм*. Расточка буксы щита равна для передней стороны *K* 110 *мм*, а для задней стороны *P* — 145 *мм*. Устройство щита понятно из рис. 45.

Втулки соответственно также только двух размеров: для передней стороны диаметр равен 80 *мм* (шейка вала), для задней стороны — 100 *мм*. Втулки применяются и сварные и литые чугунные. Сварные втулки имеют большие преимущества перед литыми чугунными и выточенными из куска валовой стали. Преимущества заключаются в том, что механическая обработка значительно меньше, ибо мы можем куски листового железа взять такой толщины, которая достаточна будет для толщины стенки втулки плюс небольшой припуск на обработку. В случае чугунного литья (цилиндр) получить нормально (без большого брака) втулки до 10 *мм* равномерной толщины затруднительно. Изготовление втулки из целого куска стали — слишком дорогая операция (большой отход материала в виде стружки).

Перед заливкой баббитом втулки обрабатываются изнутри, и грубо обдирается наружная поверхность. После заливки баббитом следует окончательная обработка внутреннего диаметра, потом на оправке обрабатывается наружная поверхность с припуском на шлифовку примерно 0,1 *мм* на сторону в случае железных втулок Для всех машин типа 246 (до 1000 об/мин включительно) применяется баббит второго сорта и в редких случаях (в случае специальных машин) баббит первого сорта. Ведутся опыты с заливкой втулки кальциевым баббитом, но пока это полностью не изучено.

Рассмотрение остальных деталей не представляет особого интереса, и мы их рассмотрим попутно со сборкой.

д) Механическая обработка двигателей.

Расположение оборудования и рабочих мест при серийном производстве трехфазных двигателей типа 246.

Элетромашиностроение отличается от других отраслей машиностроения тем, что в производстве сочетаются чисто механическая обработка деталей и изготовление электрической части машин.

Например заготовку обмотки и намотку машин нужно рассматривать как переходную операцию от механической обработки к сборке готовой машины и выделять в особые условия.

Расстановка станков и рабочих мест в цеху возможна двумя способами.

Первый способ. Функциональная расстановка станков, заключающаяся в том, что станки однородные по выполняемой работе (функциям станка), располагаются по группам, например токарные, сверлильные и т. д.

Второй способ. Расстановка оборудования по движению изделия по операциям согласно принятому технологическому процессу.

Первый способ расположения применяется в цехах с индивидуальным производством. Второй способ расположения применяется во всех современных производствах с серийным и массово-поточным производством.

В производстве двигателей типа 246 принят второй способ расположения оборудования: по движению главных деталей по операциям. Такой способ расположения при условии правильного календарного планирования полностью себя оправдывает, конечно, при специальном оборудовании, чего не имеет в настоящее время электромашиностроение. Применяемое оборудование зачастую слишком сложно и универсально для тех простых операций, которые на нем производятся. Кроме того время обработки детали на станках случайное, не связанное ни с предыдущими, ни с последующими операциями. Это приводит к нерациональному использованию станков, а также к удорожанию выпускаемой продукции.

Внутрицеховая транспортировка деталей нами также достаточно не разрешена. Переброска мостовыми кранами деталей с одной операции на другую не является правильной, и необходимы иные способы передвижения; таковыми

являются движущиеся столы и т. п. для тяжелых и громоздких деталей, в особенности важные для сборочных работ.

Применяемые методы удаления отходов производства при индивидуальном производстве (главным образом ручные) не пригодны при серийном: здесь необходимы механические транспортеры, специальные каналы и т. п.

Принятые методы механической обработки главных деталей.

1) Обработка корпусов. Корпуса (рис. 47) проходят следующие операции:

а) обработку на карусельном станке,

б) сверловку,

в) фрезеровку.

Мы здесь не указываем разметки, отпадающей при применении кондукторов.

Обточка корпусов разбивается на следующие операции:

1. Проточка ребер до размера 650 *мм* одного фланца и одного замка для щита. После этого корпус перевертывается и ставится на крестовину, имеющую вырез-заточку диаметром 730 *мм*.

2. Проточка второго фланца.

Сверловка разбивается на следующие операции:

1. Сверловка дыр лап корпуса, сверловка и нарезка под рым (подъемное кольцо). Корпус переворачивается и производится:

2. Сверловка и нарезка под болты крепления подшипника первого. Переворачивается на вторую сторону.

3. Сверловка и нарезка под болты крепления второго подшипника.

Обработка производится партиями в 7—10 штук, т. е. 7—10 корпусов одновременно проходят последовательно все указанные операции.

Обработка ведется резцами из твердых сплавов — „победита“ и „видия“.

2) Обработка валов. Валы проходят следующие операции:

а) обдирку с припуском на последующую операцию 2,0 *мм* на диаметр,

b) чистовую обточку с припуском на шлифовку 0,25—0,3 *мм*,

c) фрезеровку,

d) шлифовку.

Обработка идет резцами из твердых сплавов с применением на обдирке охлаждения резца акволью.

3) Обработка подшипниковых щитов. Подшипниковые щиты (*Р* и *К* на рис. 45) проходят следующие операции:

a) проточку фланца вентиляции и выточки замка с проточкой внутреннего торца буксы щита,

b) проточку буксы щита под наружный диаметр втулок,

c) сверловку дыр для пропуска болтов крепления щита к корпусу, сверловку и подрезку для цапок и болтов вилки приспособления подъема щеток,

d) для подшипника *К* фрезеровку окна для установки подъемного механизма.

Изложение подробностей механической обработки, как то: методов крепления деталей, режущего инструмента, устройства станков и т. п., не входит в нашу задачу.

Остановимся на основном вопросе механической обработки при серийном производстве: на взаимозаменяемости деталей, ибо от разрешения этого вопроса зависит правильность точной сборки, качество машин серийного производства и т. д.

Современное машиностроение тем и отличается, что на основе широкой нормализации деталей проведена взаимозаменяемость их.

e) Нормализация и взаимозаменяемость деталей.

Под стандартизацией подразумевается установление единого образца изделий. Нормализация же устанавливает известные пределы и правила (нормы); а по отношению к машиностроению: проведение точного соблюдения размеров (норм) отдельных частей машины для возможности замены их соответствующими другими, изготовленными не специально для данной машины.

Для роста промышленности необходимы стандартизация и нормализация; наоборот, стандартизация и нормализация — рычаги ускорения развития промышленности. За границей отдельные организации специально занимаются этими вопросами, а неотъемлемой частью работы лучших специалистов является проведение всемерной рационализации. Степень рационализации производства характеризуется степенью проведения нормализации. Характерно в этом отношении заявле-

ние американского промышленника (Р. Хольцер, „Систематическая рационализация производства". Изд. „Техника управления", Москва, 1930 г.): „Идея нормализации в Америке принесла гораздо больше прибыли, чем все другие изобретения последнего столетия, вместе взятые, включая сюда пар и электричество".

Как мы иногда близоруки и невежественны, когда вместо отверстия одного размера применяем два, забывая, что это ведет к необходимости иметь два различных сверла, метчика и т. д. Как нерационально мы рассчитываем и конструируем, когда на одном валу с одним диаметром делаем две различные шпонки.

Нормализация в двигателях типа 246 пошла далеко вперед, если взять хотя бы сведение роторной меди к двум-трем размерам.

Взаимозаменяемостьдеталей тесно связана с нормализацией. Взаимозаменяемость деталей означает возможность замены любой детали изделия любой соответствующей деталью с теми же основными размерами без всякой подгонки и т. п.

Полной взаимозаменяемости деталей двигателя типа 246 еще нет, но эта задача будет, конечно, разрешена. Основные предпосылки взаимозаменяемости деталей следующие: правильно выбранная и достигнутая точность механической обработки, правильный рациональный выбор системы допусков, правильный контроль деталей в отношении применяемых измерительных инструментов и организации контроля.

Точность механической обработки.

Под точностью механической обработки подразумевается совпадение полученных размеров изделия с заданными с возможно минимальными от этих размеров отклонениями.

Правильный выбор системы допусков.

Современные машины состоят из большого количества деталей. Эти детали должны между собой должным образом сочленяться. Это сочленение производится посадкой одной детали на другую, сболчиванием или каким-либо другим способом. При этом для сочленения нескольких деталей существует система посадок. Если нам требуется так соединить две детали, чтобы они при работе были неизменны, составляя одно целое, то их нужно соответствующим образом закрепить, что достигается посадкой одной детали на

другую в горячем виде. При нагревании детали расширяются, но после охлаждения принимают свои прежние размеры. Соединяемым деталям нужно придать такие размеры, чтобы детали после охлаждения накрепко друг друга охватили (чтобы получить „натяг“). Поэтому в зависимости от выбранной посадки при обработке соединяемым деталям придают определенные размеры: номинальные плюс еще допуски.

Отсюда понятно, что в зависимости от желаемого характера соединения деталей нужно выбрать допуски при их механической обработке. От этого выбора зависит не только взаимозаменяемость, но также и стоимость обработки деталей.

Системы посадок и допуски в настоящее время хорошо разработаны и стандартизованы как за границей (нормы DIN), так и у нас, в Союзе. При конструировании машины конструктор, в зависимости от характера соединения деталей, к номинальным размерам дает допуски, которые необходимо выдержать. Если неправильно заданы допуски или правильные при обработке не выдержаны, детали соединять будет невозможно, и взаимозаменяемость достигнута быть не может.

Для контроля при обработке правильными размерами и допусками служат нормальные и главным образом предельные измерительные инструменты — калибры и т. п.

Организация контроля и контрольный измерительный инструмент.

Пооперационный контроль в большинстве случаев предполагает пооперационную работу. Степень расчленения на отдельные операции зависит от сложности детали и имеющихся в наличии станков. Нужно сказать, что слишком широкое введение пооперационного контроля иногда может нецелесообразно ложиться накладным расходом на стоимость детали.

Наиболее употребительными измерительными инструментами в настоящее время при механической обработке являются:

a) нормальные скобы для промера диаметров,
b) предельные скобы для промеров диаметров,
c) предельные калибры для промера отверстий,
d) предельные линейные скобы специально для промера каких-либо размеров обрабатываемой детали.

Все сказанное относительно взаимозаменяемости деталей мы разберем на конкретном примере обработки вала двигателей типа 246.

ж) Обработка валов с точки зрения достижения их взаимозаменяемости.

Представленный на рис. 49 вал двигателя типа 246 проходит при своей обработке указанные на стр. 93 операции.

Для того, чтобы валы, обработанные по одному чертежу, были взаимозаменяемы, должны быть выдержаны как номинальные размеры, так и те допуски, которые указаны в чер-

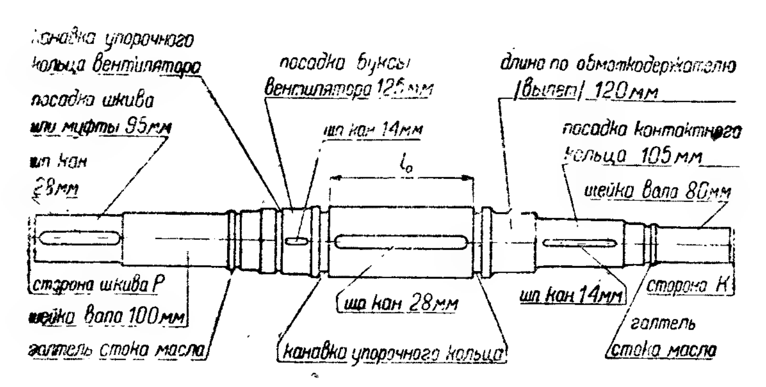


Рис. 49. Вал двигателя типа PRV 246 с обозначением главных длин.

теже вала. В этих условиях обработка и контроль ведутся следующим образом.

Отрезок вала центрируется и ставится на обдирку. Один конец вала зажимается в специально сконструированный горшковый патрон, а другой конец — на центр задней бабки. Диаметры при обдирке проверяются нормальными скобами (рис. 50). Длина прохода измеряется линейными скобами (рис. 51). Обработка вала начинается с конца задней бабки. При этом даются последовательно скорости резания по таблице 16. В этой таблице указано, на какую длину и на какой диаметр нужно итти с указанными наивыгоднейшими скоростями резания. Благодаря применению скоб, как по диаметру, так и по длине, представляется возможным выдержать нормальные припуски (2 *мм*) на чистовую обработку вала,

а также выдержать правильно на обдирке основные размеры вала.

При чистовой обработке вала производится подрезка вала и доведение размеров вала по диаметру и по длине с припуском на шлифовку. Размеры в этом случае проверяются уже предельными скобами (рис. 52). Обработка гал-

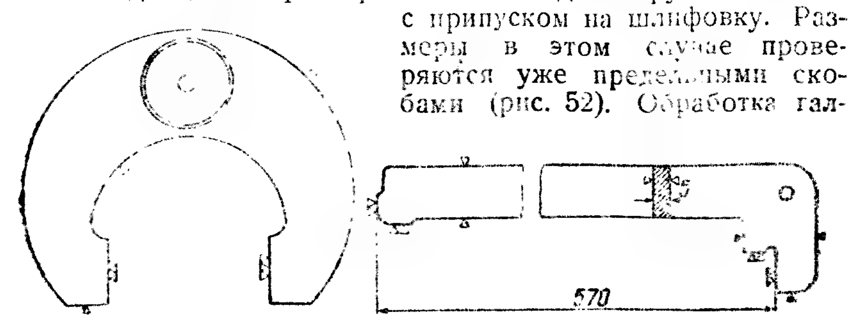


Рис. 50. Нормальные скобы для промера диаметрового вала при обдирке.

Рис. 51. Линейные скобы для чистовой обточки вала.

телей, как наиважнейшая операция (в особенности рабочих галтелей), производится фасонными (галтельными) резцами, проверяется шаблонами (рис. 53) и предельными галтельными

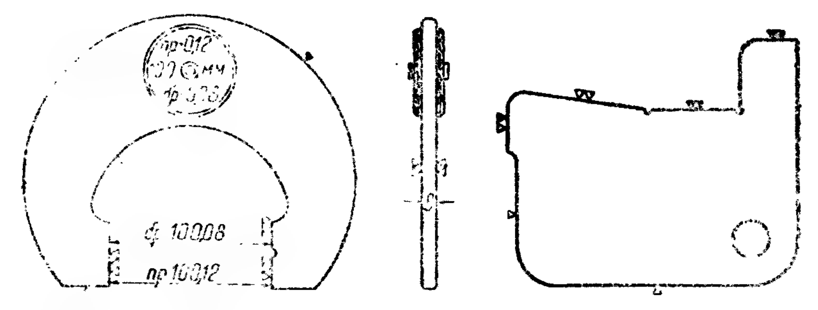


Рис. 52. Предельные скобы для промера диаметров и длин при чистовой обточке вала.

Рис. 53. Шаблоны для промерки.

скобами. Припуск на шлифовку дается в среднем 0,25—0,3 *мм* на диаметр.

При таком способе обработки и контроле обточка вала (основная по существу операция) позволяет действительно строго выдержать требуемые допуски для всех размеров вала.

Шлифовкой вала достигаются номинальные размеры с допусками при выбранной системе посадок по отдельным участкам вала.

В таблице 16 указаны окончательные размеры вала с указанием системы посадки и допусков. Фрезеровка происходит (рис. 54) на вертикальном фрезерном станке нор-

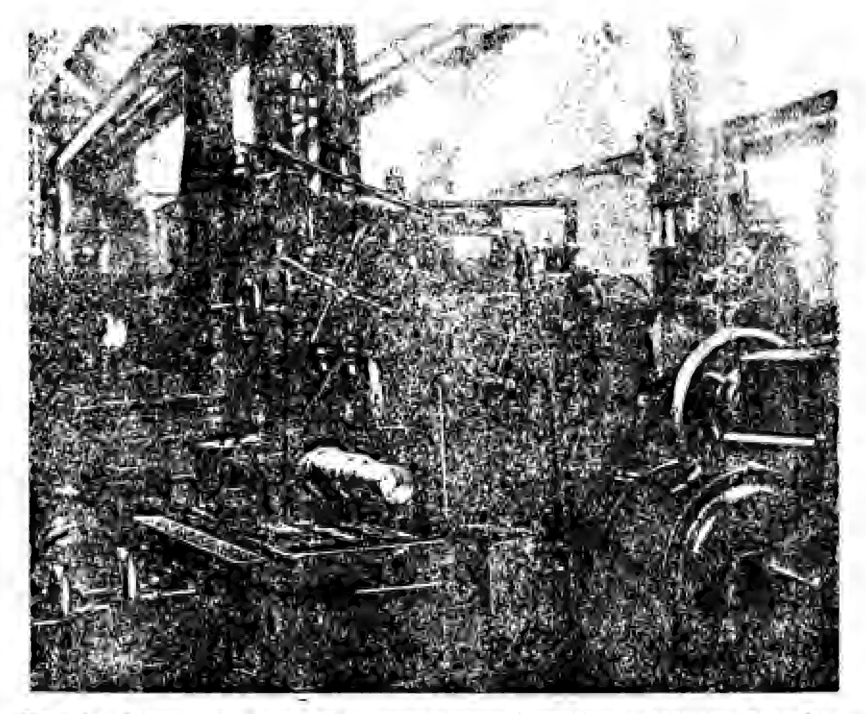


Рис. 54. Фрезеровка вала на вертикальном фрезерном станке Аргдейля.

мальными торцовыми фрезами. Контроль осуществляется шаблонами (рис. 55).

Мы видим таким образом, что все размеры вала проверяются предельными скобами и шаблонами, что и дает возможность получить валы полностью взаимозаменяемыми. Вал при дальнейших операциях (железосборка, сборки машины) не требуют никакой дообработки.

Благодаря тому, что деталь закреплена за станком, так же, как и инструмент режущий и измерительный, рабочий

на относительно продолжительный промежуток времени также закреплен за станком, и, наконец, вследствие применения специальных приспособлений (горшковый патрон на обдирке, многорезцовая головка на обточке) мы имеем высокую производительность рабочего и станка. В среднем вал должен обрабатываться на обдирке по нормам ТНБ в 3,5—4 часа, а фактически же в 2,5—3 часа.

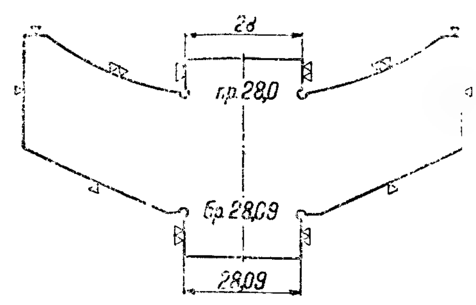


Рис. 55. Шаблоны для промера шпоночных канавок.

Подобные же предельные скобы, шаблоны и глубомер разработаны также для обработки почти всех деталей двигателя типа 246, что и дает взаимозаменяемость деталей этого двигателя.

Укажем еще на одно важное обстоятельство при механической обработке деталей двигателя типа 246. Обычно применяемый метод обработки подшипниковых щитов следующий. На карусель крепится при помощи домкратов и планок подшипниковый щит. Обрабатывается фланец щита и замок. После этого производится расточка под втулку подшипника. В нашем случае обточка фланца и замка происходит по карусели с подрезкой буксы щита. Контроль производится предельными скобами (замка) и глубомерами. Расточка же буксы происходит не на карусели а на токарном станке. Крепится щит на специальной планшайбе с выточкой для замка щита. При таком способе получается абсолютно точная концентричность замка по отношению расточки буксы щита. Это обстоятельство дает возможность легко, правильно без опиловки выверить воздушный зазор машины. Нарушение получается в том случае, когда замок по своей толщине получается из-за неправильности литья, неравномерным по окружности. Весь измерительный инструмент для типа PRV 246 разработан отделом технической подготовки и изготовлен инструментальным цехом завода. В заключение необходимо указать, что по механической обработке в электромашиностроении требуется создание специального оборудование, расчленение на простые операций, применение специальных приспособлений и

набор измерительного инструмента, правильное расположения оборудования по потоку. Тогда серийное производство действительно будет рационально организованным.

Таблица 16.
Обдирка вала двигателя PRV 246.

Проход	Начальный диаметр *мм*	Длина *мм*	Диаметр после прохода *мм*	Глубина резания *мм*	При скольких оборотах в минуту	Подача *мм*	Средний диаметр *мм*	Скорость резания *м/мин*
I	150	526	117	16,5	42	0,4	133,5	17,6
II	150	104	127	11,5	42	0,4	138,5	18,2
III	117	200	97	10	55	0,4	107	18.5
IV	117	252	102	7,5	55	0,4	1 9	18,8
V	150	720	142	4	55	0,8	146	23,0
VI	150	570	122	14	42	0,4	136	18
VII	122	448 (200 + 248)	92 — 107	7,5 — 16	42	0,4	107	14,1
VIII	92	177	82	5	55	0,4	87	15,0

з) Железосборка статоров и роторов.

На сборку и отделку магнитной системы статоров и роторов асинхронных машин не обращается должного внимания, а между тем этот участок работы влияет не только на магнитные потери в железе, но так же и на качество обмотки в отношении прочности изоляций.

Организация работ сборки статоров и роторов стоит на самой низкой ступени Все работы по железосборке за малым исключением ведутся вручную.

Для правильной организации железосборочных работ необходимо: правильное хранение отштампованного железа статора и ротора, прессовка статора и ротора с необходимым давлением на *см*² сечения железа, правильное расположение вентиляционных каналов, правильная отделка от заусениц, выступов и т. п. пазов статора и ротора.

Основные размеры статоров и роторов.

Железо статора и ротора характеризуется следующими основными размерами для двигателей типа 246:

а) Внешний диаметр вырубки статорного железа.

b) Внутренний диаметр статора.
c) Число пазов статора.
d) Размеры паза.

Для ротора:

a) Внешний диаметр ротора.
b) Внутренний диаметр ротора.
c) Число пазов ротора.
d) Размеры паза.

Как указывалось выше, внешний диаметр вырубки статорного железа один для всех двигателей типа 246, равный 650 *мм*.

Внутренний размер расточки статора для двигателей на 1500 и 1000 об/мин равен 450 *мм* и для 750 об/мин—500 *мм*. Внешний диаметр для двигателя на 1500 об/мин — 447,4 *мм* с воздушным зазором на сторону 1,3 *мм*. Для 1000 об/мин — 448 *мм* с воздушным зазором 1 *мм* и для 750 об/мин — 498 *мм* с воздушным зазором 1 *мм*.

Число пазов на статоре и роторе указано в таблице 13. Длина железа статора с вентиляционными каналами для исполнения двигателей с буквой i — 270 *мм*, l — 370 *мм*, n — 470 *мм*. Размеры пазов — см. таблицу 14.

Хранение отштампованного железа.

Имея эти данные, можно железо статора и ротора хранить комплектами вне зависимости от заказа, что нами и делается при серийном производстве двигателей типа PRV 246, несмотря на то, что штампуется оно по заказам. Место для хранения штампованного железа должно быть выделено специально, так как складывание его около рабочих мест, как показывает опыт, ведет к большому проценту брака. Необходима предварительная пакетовка железа, так как в противном случае после сборки требуется (благодаря смещению в зубцах от износа штампы и т. д.) излишняя опиловка пазов, ведущая иногда к повышению магнитных потерь. Место хранения железа должно быть сухим, иначе железо ржавеет, изоляция его портится.

Изоляцией железа служит или тонкая бумага (0,05 *мм* толщины), или специальный изоляционный лак. За последнее время больше всего применяется лакировка железа, дающая более тонкий слой изоляции.

Прессовка железа статора и ротора.

Сборка железа статора и ротора должна вестись по специальным сборочным калибрам, применяя которые, мы уменьшаем сдвиги зубцов. Прессовка железа ведется или на ручных прессах, подобно изображенным на рис. 56, или на гидравлических прессах. Прессовка должна быть равномерной по окружности и одинаковой по длине. В случае если железо будет „волнами", то под влиянием магнитного поля ротор будет иметь осевую игру, что недопустимо. Если будет неодинаковая прессовка по длине статора, то при работе ротор будет тянуть в сторону с большей плотностью прессовки, что скажется на установке подшипника. Железо кроме того должно быть спрессовано так, чтобы давление было примерно 15—20 *кг/см*². Если железо слабо спрессовано, то при работе машины будет вибрация листочков железа (зубцов), производящая шум. Кроме того чересчур большое давление может увеличить железные потери. Поэтому приспособления для прессовки железа статоров и роторов должны удовлетворять условиям правильной прессовки. У нас еще нет таких приспособлений. Их нужно будет при крупносерийном производстве создать и по возможности процессы сборки механизировать. При прессовке иногда вентиляционные пластины, создающие каналы для прохождения воздуха охлаждения, вывертываются или, как говорят, сваливаются; это приводит к „волне" в пакетах и кроме того затрудняет правильную вентиляцию. Необходимо также по

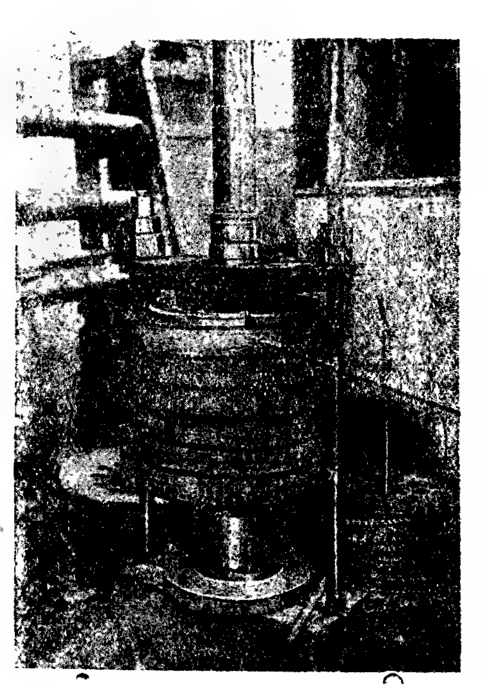


Рис. 56. Сборка и прессовка ротора.

возможности не допускать „веера“ крайних листов железа статора и ротора, что нарушает правильные размеры расстояний обмотки и приводит к шуму машины. На всех машинах серии R/6 с открытым пазом статора крайние листы собираются пальцами из железа, которые привариваются к листам точечной электросваркой.

Отделка статоров и роторов.

Отделка — самая тяжелая ручная работа. Отделка заключается в опиловке пазов статора и ротора от заусениц и выступов, и производится благодаря смещению зубцов ручными пилами.

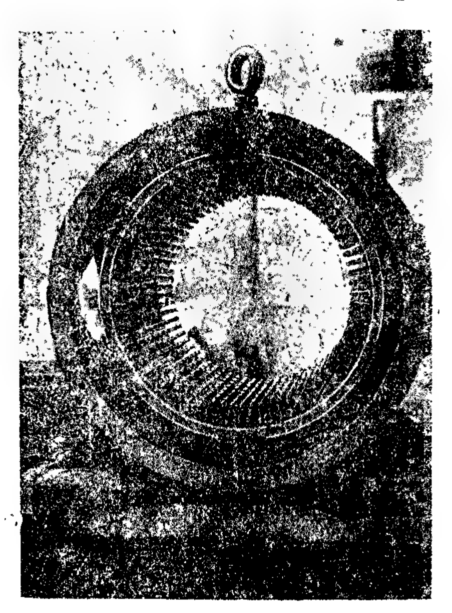


Рис. 57. Собранный и распиленный статор двигателя типа PRV 245 n—1500 200 kW, 6000 V.

Паз нужно опилить так, чтобы свободно проходил контрольный калибр и чтобы не было абсолютно никаких выступов и т. п., в противном случае при намотке возможна порча изоляции и ее пробой, что часто имеет место. При отделке необходимо обращать внимание на поверхность углов паза крайних пакетов, ибо при выходе обмотки из паза, если не будут удалены заусеницы, выступы и сделаны соответствующие закругления, возможен излом омиканиченной секции, переброс на острые края и пробой обмотки.

Вот те основные моменты железосборки, на которые нужно обратить внимание при ее организации. В заключение на рис. 57 приведена фотография собранного, но не обмотанного статора.

Для машин на 6000 V и выше принято пульверизовать железо лаком воздушной сушки для избежания переброски с обмотки на статорные кольца. Работы по железосборке должны быть по возможности диференцированы.

При таком способе организации труда производительность рабочего растет, а потеря времени уменьшается.

Крепление железа статора и ротора типа 246 понятно из приведенных иллюстраций. Вопрос механизации железосборочных операций магнитной системы — первоочередная задача для электромашиностроения.

и) Намотка статоров и роторов.

Статорная обмотка двигателей типа 246 принципиально ничем не отличается от обмоток двигателей серии R/6; исполняется исключительно американского типа. Заготовку и изолировку мы описали выше. Вкладки секций шаблонов не

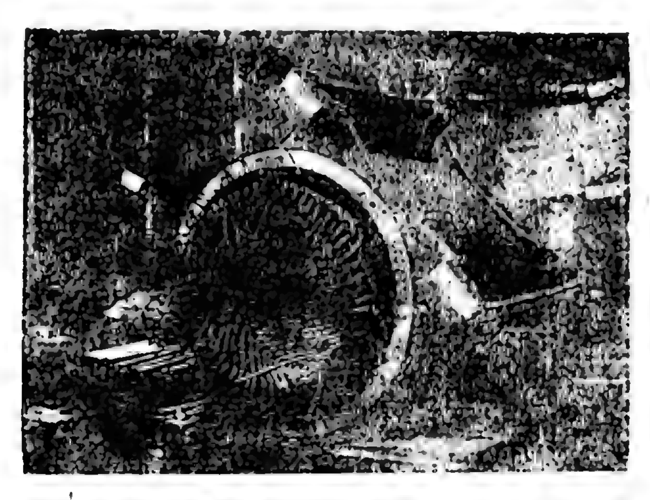


Рис. 58. Обмотанный, но не соединенный статор двигателя типа PRV 246 n—1500, 200 kW, 6000 V.

представляют никаких трудностей. Необходимо только перед вкладкой хорошо продуть пазы статора и еще раз осмотреть пазы: нет ли в пазу каких-либо посторонних тел и выступов. Изоляция паза берется согласно нормам, принятым на заводе. Шаг обмотки дается в расчетных данных.

Здесь необходимо упомянуть, что в современных двигателях и генераторах трехфазного тока принят сокращенный шаг обмотки. Сокращение шага обмотки примерно равно 0,8. Это значит, что если нормальный шаг будет

например 1—11, то сокращенный шаг будет 1—9. Сокращение шага, помимо уменьшения расхода меди, дает также лучшее распределение магнитного поля, что приводит к уничтожению высших гармоник в поле и уменьшению за счет таковых магнитных потерь. При вкладке обмотки необходимо строго следить за выполнением размеров расстояний обмотки от железа. Угол отгиба должен быть не менее 5°, но и не больше; в противном случае лобовые части обмотки будут близко к подшипниковым щитам, что может привести к пробою изоляции в собранной машине. После укладки лобовые части должны быть равномерно распределены по окружности и иметь одинаковые просветы, для чего обмотку необходимо отрихтовать. После намотки статора (перед соединением) н обходимо испытать обмотку на корпус и на витковое короткое. При испытании на корпус дается приведенное на стр. 61 напряжение в зависимости от рабочего напряжения машины. Обмотанный статор с американской обмоткой показан рис. 58.

Соединения статоров с американской обмоткой.

При соединении обмотки статоров нужно различать следующие соединения фазы:

a) последовательное соединение катушек фазы,

b) параллельное соединение катушек фазы,

c) последовательно параллельное соединение катушек фазы.

Сопряжение фаз возможно:

a) соединением в звезду (⅄),

b) соединением в треугольник (△),

c) соединением, предусматривающим переключение со звезды на треугольник.

В начале соединений необходимо установить количество пазов на полюс-фазу или для большей ясности количество катушек в фазе (таблица 13). После этого нужно набросать принципиальную схему соединений, заключающуюся в следующем: дано например число оборотов двигателя — 750 об/мин; следовательно всего катушек на статоре должно быть 12; а число катушек в фазе — 4. (Схема последовательного соединения дана на (рис. 59).

Мы соединяем конец первой катушки с началом второй катушки и т. д. То же во второй и третьей фазах.

В зависимости от сопряжения (⅄ или △) соединяем или все концы в одну точку (в случае соединения ⅄), или конец катушек первой фазы с началом катушек второй фазы, конец катушек второй фазы с началом катушек третьей фазы и конец третьей фазы с началом катушек первой фазы

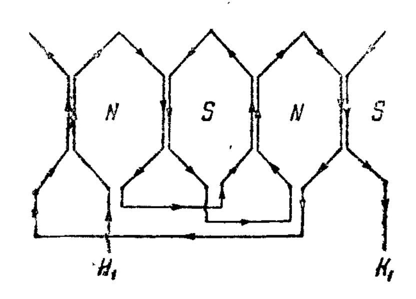


Рис. 59. Схема последовательного соединения двуслойной (американской) статорной обмотки. 1500 об/мин, 4 полюса.

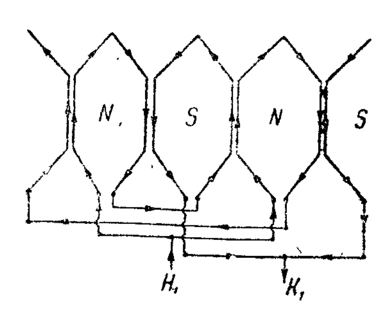


Рис. 60. Схема параллельного соединения двуслойной (американской) статорной обмот и. 1500 об/мин, 4 полюса, 2 группы параллельно.

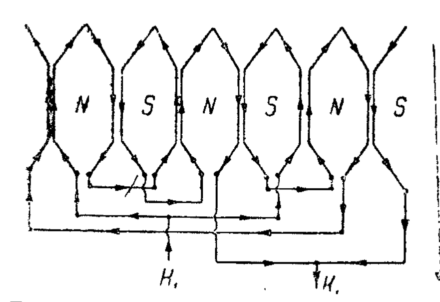


Рис. 61. Схема последовательно-параллельного соединения двуслойной (американской) обмотки. 1000 об/мин, 6 полюсов, 2 группы параллельно.

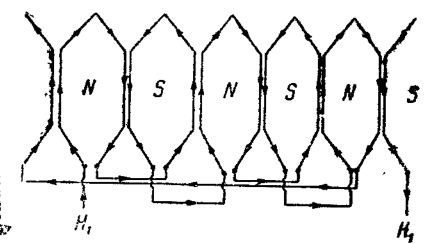


Рис. 62. Схема соединения двуслойной (американской) статорной обмотки. 1000 об/мин, 6 полюсов, последовательное соединеиие.

(в случае соедннения △). От мест соединения начала с концом берем выводные концы.

При параллельном соединении берем начало катушек фаз в одну точку, а концы в другую точку, т. е. получим соединения рис. 60. Общие начала и концы опять соединяем в зависимости от сопряжения фаз (⅄ или △) так же, как сказано в первом случае.

При последовательно-параллельном соединении получим схему рис. 61. Далее соединяем так же, как и в первом случае.

Сопряжение ⅄/△ предполагает соединение не внутри машины, а путем соответствующего пересоединения у коробки статора зажима или еще каким-либо путем выведенных шести концов (три начала и три конца).

В случае американской обмотки не нужно забывать, что стороны двух шаблонов лежат в одном пазу. Обмотка разбивается при обходе на полукатушки, которые мы

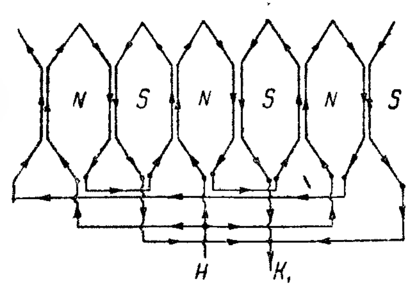


Рис. 63. Схема соединения двуслойной (американской) статорной обмотки, 1000 об/мин, 6 полюсов, 3 группы параллельно.

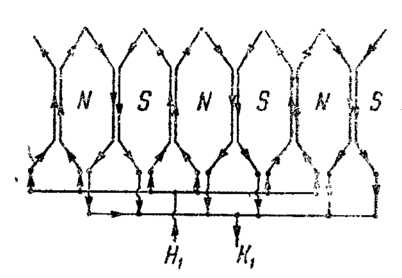


Рис. 64. Схема соединения двуслойной (американской) статорной обмотки. 1000 об/мин, 6 полюсов, 6 групп параллельно.

должны соединить так, чтобы ток имел в рядом лежащих шаблонах одинаковое направление, что видно из нижеприведенных схем соединения. Принципиальные и полные рабочие схемы соединений обмоток для указанных случаев практического выполнения приведены на рис. 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68. *

Мы уже указали выше, что основным недостатком американской обмотки является наличие большого количества паек. Пайка — слабое место американской обмотки при выполнении. В случае, если пайка хотя бы одного соединения сделана нехорошо, сопротивление обмотки по фазам будет различно. Место плохого спая будет сильно прогреваться и может привести к разрыву обмотки в этом месте.

* Стрелками указано направление тока в проводниках одной фазы. При сопряжении фаз ⅄/△ K_1, K_2, K_3 (концы фаз) соединяются в одну точку. При сопряжении фаз ⅄/△, H_1, H_2, H_3 и K_1, K_2, K_3 (начала и концы фаз) выводятся наружу в коробку статорного зажима.

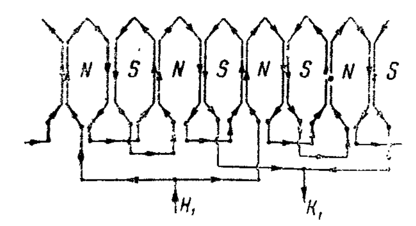


Рис. 65. Схема соединения двуслойной (американской) статорной обмотки. 750 об/мин, 8 полюсов, 2 группы параллельно.

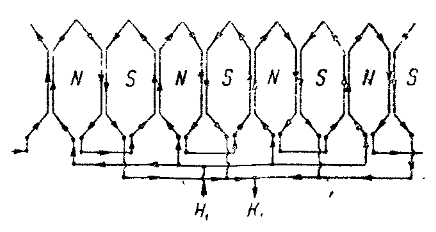


Рис. 66. Схема соединения двуслойной (американской) статорной обмотки. 750 об/мин, 8 полюсов, 4 группы параллельно.

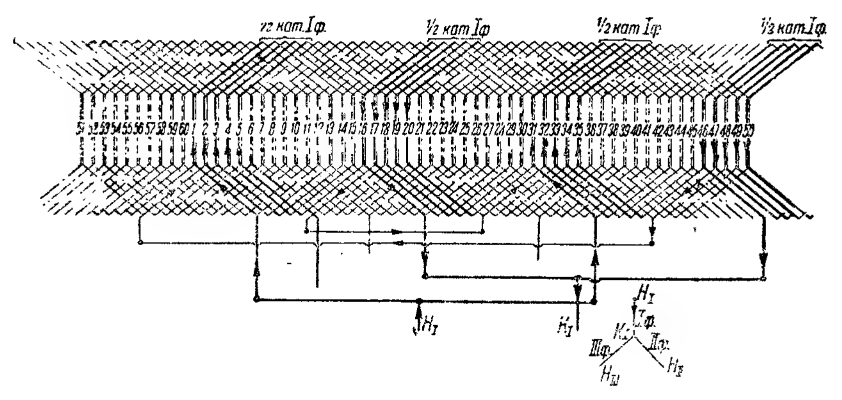


Рис. 67. Схема соединения американской статорной обмотки: 60 пазов, 4 полюса, 2 группы параллельно, шаг обмотки 1—13, сопряжение ⅄

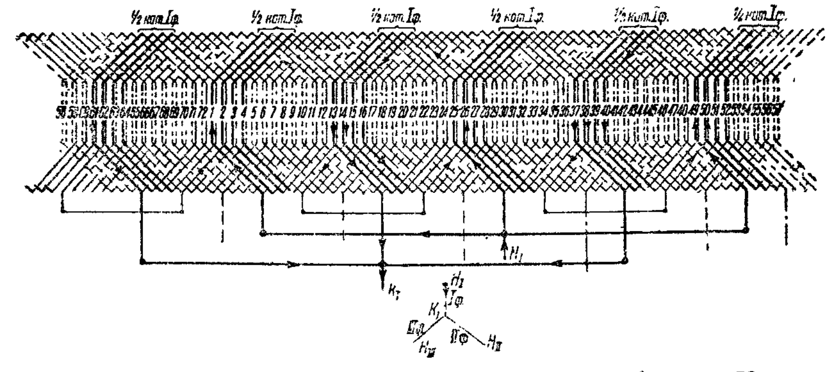


Рис. 68. Схема соединения американской статорной обмотки: 72 паза, 6 полюсов, 3 группы параллельно, шаг обмотки 1—11, сопряжение ⅄.

Пайка должна быть произведена по следующему рецепту. Облуженные, предварительно соединяемые, концы связываются вязальной проволокой или, лучше, плотно облегающей скобочкой. Проводники обмотки прогреваются на электрическом или газовом паяльнике до температуры примерно 300° С. Для лучшего прогрева нужно подпустить под скобочку немного олова. Для лучшего схватывания оловом необходимо посыпать места спайки порошком толченой канифоли (гарпиуса). Совершенно недопустимо пользование соляной или другой кислотой при всех работах, и в особенности обмоточных, в производстве электрических машин. После того как закончена пайка, необходимо тщательно зачистить места паек от острых краев и т. п., заизолировать эксцельсиором в $^1/_4 - ^1/_3$ нахлестки и окончательно покрыть лентой. После соединения производится проверка на высокую частоту, выяснение виткового короткого, а дальше — сушка и покрытие изоляционными лаками.

Перед сушкой и пропиткой необходимо статор тщательно продуть, удалив все посторонние предметы и обрезанные полосы проводников, попавшие во время работы в корпус, вентиляционные каналы и т. п.

Намотка роторов.

Роторы асинхронных двигателей выполняются с короткозамкнутой обмоткой, фазной обмоткой по системе Бушеро (двойная обмотка) и обмоткой с глубоким пазом.

Короткозамкнутая обмотка в виде беличьего колеса выполняется следующим образом.

В пазы, обычно круглой формы со шлитцем, загоняются ударами молотка круглые латунные стержни так, чтобы их концы одинаково выступали по всей окружности. Эти концы с торца соединяются автогенной сваркой медным кольцом. Необходимо обратить внимание, чтобы при сварке крайние листы железа не обгорали, иначе они впоследствии при работе машин дают вибрацию, создавая шум в машине (гудение в моторе) и опасность их отрыва и порчи статорной обмотки.

Роторные обмотки по системе Бушеро выполняются в виде двойной короткозамкнутой обмотки на роторе. Обычно нижняя обмотка состоит из медных стержней прямоугольного сечения, соединенных по торцам сваркой медными кольцами. Верхняя обмотка состоит из стержней круглого сечения латуни, также соединенных сваркой медными коль-

цами. Короткозамкнутые обмотки с глубоким пазом выполняются из медных полос, толщина которых значительно (от 5 до 8 раз) меньше высоты полосы. Короткозамкнутые двигатели выполняются редко на мощность, большую 100 kW.

Обмотки по системе Бушеро (двигатели Бушеро) и с глубоким пазом выполняются с целью улучшения пуска двигателя в ход и улучшения других характеристик.

Для двигателей типа PRV 246 обмотка ротора выполняется в большинстве случаев (нормально) в виде фазной обмотки. Эта обмотка похожа на обмотку машин постоянного тока, являясь стержневой двухслойной обмоткой. Сечение роторной меди прямоугольное, имеющее закругления по форме паза одной из малых сторон.

Нижние стержни имеют закругление ко дну (вниз) паза, верхние — к вершине. Паз роторного железа полукруглый, обычно имеющий шлиц до 2 *мм* ширины. Число пазов на роторе делается больше, чем на статоре, в целях избежания прилипания ротора к статору. В зависимости от оборотов двигателя лобовые части обмотки ложатся на обмоткодержатель или остаются свободными. В том и другом случае на лобовые части обмотки кладется бандаж из стальной проволоки с высоким сопротивлением разрыву диаметром от 1 до 2 *мм*.

Соединения роторной обмотки.

Из таблицы 13 можно видеть, что для всех двигателей типа 246 применена роторная обмотка:

для 1500 об/мин — 78 пазов, 6,5 паза на полюс-фазу, последовательное соединение, медь 6,5 × 14 $мм^2$,

для 1000 об/мин — 90 пазов. 5 пазов на полюс-фазу, последовательное соединение, медь 4,5 × 12,5 $мм^2$,

для 750 об/мин — 96 пазов, 4 паза на полюс-фазу, последовательное соединение, медь 4,5 × 12,5 $мм^2$.

Во всех указанных случаях сопряжение фаз роторной обмотки — $\curlywedge$ (звезда).

Схема соединений для роторной обмотки двигателя на 1500 об/мин типа PRV 246 (i, l, n).

При числе пазов на роторе, равном 78, число пазов на фазу будет равно $\frac{78}{3} = 26$, а на полюс-фазу — $\frac{26}{4} = 6,5$ $(2p = 4)$. Число пазов, приходящихся на полюс,

$\frac{78}{4} = 19{,}5$. Число стержней, соответствующее двуслойной обмотке, будет равно $78 \times 2 = 156$. Число стержней на фазу — $\frac{156}{3} = 52$. Число стержней на полюс $\frac{156}{4} = 39$.

После этих элементарных подсчетов наметим условно черточками 78 пазов и будем составлять схему соединений. Начальный шаг обмотки при 39 стержнях на полюс по стержням будет, как не трудно понять, 1—40, или по пазам 1—20. Чтобы лучше уяснить схему соединений, мы разберем обход обмотки одной фазы, причем таким путем, что в некоторых пазах по схеме сначала будем (мысленно, конечно) заполнять пазы верхними стержнями, а потом нижними, чего практически не делается. Но после такого разбора нетрудно будет понять, как практически будет итти выполнение намотки роторов. Возьмем на рис. 69 ленту, на которой наметим на одинаковом расстоянии, равном расстоянию между серединами двух соседних пазов (зубцовый шаг), 78 черточек (пазов). Положим в 1-й паз верхний стержень, конец которого с передней стороны ротора примем за начало (отмечено на схеме буквой U).

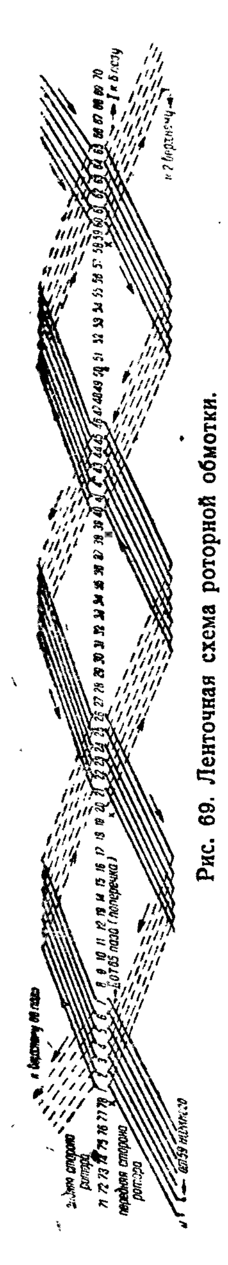


Рис. 69. Ленточная схема роторной обмотки.

Шаг по стержням (начальный) будет 1—40 или 1—20 по пазам, так как нам нужно при числе пазов на полюс, равном 19,5, уложить 39 стержней, из которых 13 стержней первой фазы, 13 стержней второй фазы и 13 стержней третьей фазы. Следовательно стержень первой фазы второго полюса будет лежать (40-й стержень) в 20-м пазу внизу (нижний стержень). Таким образом конец верхнего стержня в 1-м пазу будет с задней стороны ротора соеди-

нен с концом 40-го стержня с той же стороны, лежащим внизу 20-го паза. При этом заметим, что низ 20-го паза, занят стержнем 2-го полюса, а верх — стержнем 1-го полюса, что отмечаем крестиком (х). Второй полюс также будет иметь 39 стержней, из коих 13 стержней первой фазы. Нетрудно понять, что эти 13 стержней займут 21, 22, 23, 24, 25, 26-й пазы (6 пазов по 2 стержня — 12 стержней плюс один стержень в 20-м пазу). Следовательно 27, 28, 29, 30, 31, 32-й и половина 33-го паза будут заняты стержнями второй фазы. Вторая половина 33-го паза и 34, 35, 36, 37, 38 и 39-й пазы заняты стержнями третьей фазы. Значит, в 40-м пазу будет лежать верхний стержень третьего полюса первой фазы. Поэтому конец нижнего стержня 20-го паза — с передней стороны 40-го паза. У 39-го паза ставим крестик, что значит: 39-й паз занят стержнями второго полюса. Пазы 40, 41, 42, 43, 44, 45-й и половина 46-го будут заняты стержнями третьего полюса первой фазы. Отсчитывая таким же путем, придем в 59 й паз, где будет лежать внизу стержень четвертого полюса первой фазы, а вверху стержень третьей фазы третьего полюса. Стержни четвертого полюса первой фазы займут следовательно низ 59-го паза и 60, 61, 62, 63, 64 и 65-й пазы. Пазы 66, 67, 68, 69, 70, 71-й и половину 72-го паза займут стержни второй фазы четвертого полюса, а вторую половину 72-го паза и 73, 74, 75, 76, 77 и 78-й пазы — стержни третьей фазы четвертого полюса. Так как у нас четырехполюсный ротор с 78 пазами, то нижний стержень, лежавший в 59-м пазу, должен пойти во 2-й паз первого полюса первой фазы. Спрашивается, почему мы не соединяем нижний стержень 59-го паза с нижним стержнем, лежащим в первом пазу? Нетрудно понять, что только потому, что при дальнейшем обходе мы должны были бы в таком случае нижнему стержню 1-го паза придать с нижней стороны такую же форму лобовой части, как и верхнему стержню, лежащему в этом пазу, что невозможно. Из этих соображений стержень 59-го паза соединяем с верхним стержнем 2-го паза, получая вместо нормального шага (1—20-й паз) 1—22-й. Отсюда понятно, что длина с передней стороны этих стержней должна быть больше нормальной. Эти стержни будут ненормальные в отличие от нормальных, например нижнего 20-го паза и верхнего 40-го паза и т. д. Верхний стержень 2-го паза с задней стороны соединяем с нижним стержнем 21-го паза и т. д., а нижний стержень 60-го паза — с верхним стержнем 3-го паза и т. д.

Сделав таким путем 6 обходов, идя вправо, соединим:

Нижний	стержень	59-го	паза	с верхним	стержнем	2-го	паза
»	»	60-го	»	»	»	3-го	»
»	»	61-го	»	»	»	4-го	»
»	»	62-го	»	»	»	5-го	»
»	»	63-го	»	»	»	6-го	»
»	»	64-го	»	»	»	7-го	»

Все эти соединения будут ненормальные с передней стороны.

Соединив на передней стороне ротора нижний стержень 64-го паза с верхним стержнем 7-го паза, идем далее, соединяя конец этого стержня с задней стороны с нижним стержнем 26-го паза, из 26-го в 46-й и из 46-го паза вниз 65-го паза. Нижний стержень 65-го паза с передней стороны соединяем с нижним же стержнем 6-го паза, ибо все верхние стержни первого полюса уже соединены, а кроме того шаг обмотки 1—20-й. Нижним стержнем 6-го паза начинается обход обмоткой ротора влево. Соединение нижнего стержня 65-го паза с 6-м нижним носит название в практике у обмотчиков поперечки. Поперечка является соединением перехода правого и левого обхода обмотки по пазам ротора. По пазу 1—20-му с задней стороны ротора конец поперечки 6-го паза соединяем с верхним стержнем 65-го паза и идем далее влево в 45-й паз, из 45-го в 26-й, из 26-го в 5-й нижний и так далее.

После 6 обходов влево, сделаем соединения с задней стороны ротора.

Верхний	стержень	26-го	паза	с нижним	стержнем	5-го	паза
»	»	25-го	»	»	»	4-го	»
»	»	24-го	»	»	»	3-го	»
»	»	23-го	»	»	»	2-го	»
»	»	22-го	»	»	»	1-го	»

Все эти соединения, как видно по схеме, будут также ненормальные (1—22-й паз). При седьмом обходе влево мы придем в 21-й паз к верхнему стержню. Это будет последний стержень 1-й фазы. С передней стороны этот конец примем за конец 1-й фазы и обозначим его через X.

Таким образом мы сделали соединения стержней 1-й фазы, получив начало U и конец X и поперечку I—II (65-й и 6-й пазы).

Таблица 17.

Фазы	Начало и конец фазы	Стержень	Лежит в пазу	Ненормальные соединения между нижними и верхними (в пазах) стержнями			
				С передн. стороны		С задней стороны	
				Нижние	Верхние	Нижние	Верхние
Первая	*U*	*U*	1 верхний	59, 60, 61, 62, 63, 64	2, 3, 4, 5, 6, 7	1, 2, 3, 4, 5	22, 23, 24, 25, 26
		X	21 верхний				
		I	65 нижний				
	X	*II*	6 нижний				
Вторая	*V*	*V*	27 верхний	7, 8, 9, 10, 11, 12	28, 29, 30, 31, 32, 33	27, 28, 29, 30, 31	48, 49, 50, 51, 52
		Y	47 верхний				
		III	13 нижний				
	Y	*IV*	32 нижний				
Третья	*W*	*W*	53 верхний	33, 34, 35, 36, 37, 38	54, 55, 56, 57, 58, 59	53, 54, 55, 56, 57	74, 75, 76, 77, 78
		Z	73 верхний				
		V	39 нижний				
	Z	*VI*	58 нижний				

При этих обходах мы заняли через полюсное деление все пазы, по отдельным полюсам первой фазы. Точно таким же путем получим соединения стержней второй и третьей фаз, взяв за начало второй фазы V на (рис. 69 не указано) верхний стержень 27-го паза и за начало третьей фазы W верхний стержень 53-го паза. После этого можно составить таблицу, указывающую положение отдельных стержней по фазам (таблица 16).

Обычно на роторе делают сопряжение фаз в звезду. В нашем случае заготовленную отдельно из прямоугольного сечения звездочку надевают на концы фаз $X—Y—Z$, и схематически на роторе получаем в данном случае схему соединения рис. 69. Из схемы мы видим, что здесь роторная обмотка подобна волновой обмотке постоянного тока.

Но иногда применяют на роторах и петлевую обмотку. Подобную схему даем на рис. 70 при $z = 72$ паза, числе полюсов — 2 и пазов на полюс и фазу — 12, в каждой фазе две параллельных ветви, сопряжение звезды (⅄).

Намотка роторов типа PRV 246.

Роторная медь поступает с кабельного завода в бухтах, перевязанных медной мягкой вязальной проволокой.

От роторной меди требуется, чтобы, помимо определенного количественного состава, она была мягкой и не дающей при изгибах трещин на поверхности. Роторная медь должна иметь обязательно предписанные заводом радиусы закругления на одной стороне. После определения размеров стержня, которое производится подобно определению размеров секции статорной обмотки с учетом по схеме соединения ненормальных стержней, поперечек, медь под вытяжкой режется на механических эксцентриковых) ножницах на куски определенной длины. При вытяжке медь незначительно уменьшается в сечении и немного повышает твердость. Подачу меди ни в коем случае нельзя производить валиком или подобными приспособлениями, так как при этом медь на поверхности получает твердую пленку, которая при изгибах дает трещины и заусеницы. Поэтому медь подается под ножницы специально устроенными кошками или вручную.

Загибка стержня производится с одной стороны, при этом радиус изгиба лобовой части придается по оправке с радиусом, равным соответствующему радиусу ротора. Необходимо при этом не забывать, что нижние стержни

должны иметь так изогнутую лобовую часть, чтобы закругление меди стержня было внизу. Приспособления для изгиба роторных стержней не представляют собой никаких сложностей. После придания стержням требуемой формы концы должны быть хорошо облужены оловом, и края прямых концов зачищены, так как в случае если эти края будут иметь наплывы олова или острые кромки, то при вставлении в паз стержня будет рваться проходная (контрольная) коробочка паза.

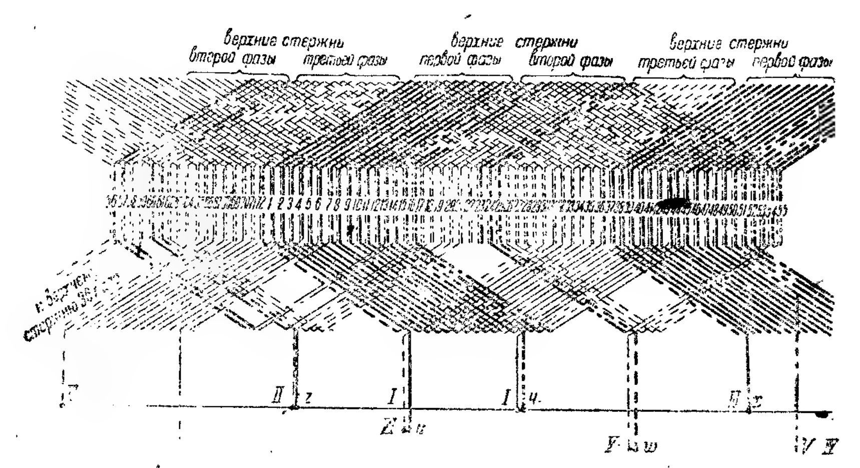


Рис. 70. Схема петлевой обмотки ротора. Число пазов—72, число полюсов—2, число пазов на полюс и фазу—12, в каждой фазе две параллельных ветви, сопряжение $\overset{|}{\wedge}$, шаг 1—31.

Очистку концов от олова лучше всего производить на механической круглой щетке. Концы должны быть облужены на 5—10 *мм* больше, чем ширина хомутика. Пазовая часть стержня должна быть абсолютно гладкая и не иметь никаких зазубрин, заусениц, острых краев и т. п.

Изолировка стержня.

Нормально на роторах асинхронных двигателей не должно быть высокого напряжения. Роторы двигателей типа PRV 246 имеют максимальное напряжение, не превосходящее 400 V. Некоторые типы двигателей в серии R/6 имеют на роторе напряжение до 1000 V. До сих пор в качестве основного изоляционного материала для пазовой части

роторных стержней служит бакелитовая бумага толщиной 0,05—0,07 *мм*. Бакелитовая бумага представляет собой обыкновенную телефонную бумагу, покрытую при определенных температурных условиях бакелитовым лаком. Важно при этом, чтобы бакелитовый лак был в определенном состоянии, иначе требуемого склеивания отдельных слоев изоляции на стержне ее плотности не достичь.

В случае машин с напряжением на роторе свыше 300 V роторные стержни по всей длине изолируются эксцельсиором. Пазовая часть покрывается в несколько слоев бакелитовой бумагой, прогревается несколько минут в горячем прессе при температуре 80—90 С и окончательно прессуется на холодном винтовом прессе. Роторный стержень при этом находится между специально изготовленными пресспланками. Пресспланка необходима для того чтобы придать изоляции определенную плотность по всей периферии стержня. У роторов с напряжением ниже 300 V стержни изолируются в лобовой части бумажной лентой, а пазовая часть — бакелитовой бумагой. В случае высокого напряжения на статоре (6000 V и выше) и напряжения на роторе ниже 300 V рекомендуется все же прибегать к усилению изоляции лобовой части для избежания переброски с обмотки статора на ротор. Для этого в этих случаях лобовую часть необходимо прикрывать эксцельсиором. Желательно иметь применяемые на стержнях ленты предварительно пропитанными в изоляционных лаках.

Нужно особенно тщательно произолировать поперечку. Перед намоткой ротора обмотчик должен прежде всего внимательно просмотреть пазы, чтобы убедиться в чистоте отделки пазов. Абсолютно (как и в статоре) недопустимы какие бы то ни было выступы, острые края и т. п. Вентиляционные каналы или, вернее, вентиляционные пластины должны быть правильно установлены. Особенно опасны для порчи изоляции места, где при обточке железа ротора получились „рванины“. Эти места должны быть при отделке тщательно расплавлены и опилены. Перед намоткой ротор необходимо продуть воздухом (давление воздуха 5—6 атмосфер). Ставить ротор необходимо на стойки, имеющие деревянные, смазанные тавотом вкладыши. Необходимо стараться не дать царапин и т. п. на шейках вала ротора. В случае, если ротор имеет не нажимные шайбы, как в машинах на 7500 об/мин и ниже, а обмоткодержатели, необходимо таковые заизолировать.

После этого в паз специальной оправочкой вставляются коробочки из прессшпана 0,1—0,2 *мм*. Края коробочки выступают из паза на 10 *мм*.

Составив схему соединений и изобразив условно таковые на ленте, ставим ее на ротор и привязываем так, чтобы совпали черточки ленты против пазов. Намотка начинается с вставления поперечек (рис. 71).

Нужно особенно тщательно произолировать поперечку, особенно же лобовые части и самые углы (переход из паза

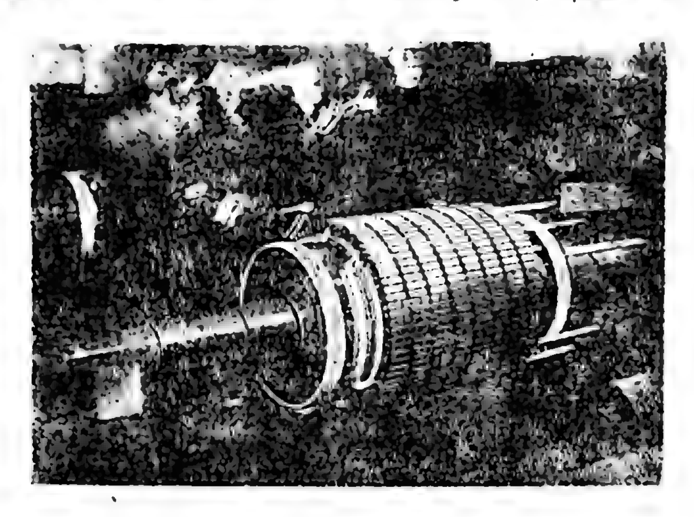


Рис. 71. Поперечки, вставленные в ротор.

на обмоткодержатель). Обмоткодержатели также нужно заизолировать прессшпаном или папкой, прижав таковую лентой к поверхности обмоткодержателя. Около самого железа (крайнего листа) обмоткодержатель имеет приблизительно 15 *мм* изоляции. Высоту этой изоляции нужно сделать такой, чтобы стержни, вставленные в пазы, впоследствии стягиваемые бандажом, не имели абсолютно перегиба на углу железа, а ложились бы на эту изоляцию. Такое мероприятие обеспечивает прочность изоляции стержней в самом опасном месте — выходе из паза.

После поперечек нужно вставлять с передней стороны ротора нижние роторные стержни, придавая им на задней стороне такой изгиб, который требуется схемой соединения. Практически этот изгиб производится специальными удли-

ненными губками, плоскогубцами и роторным ключом. Далее, с задней стороны ротора вставляем верхние стержни, загибаем их на передней стороне. После расправления надеваем на концы соединяемых стержней хомутики. Затем необходимо лобовую часть отрихтовать, что достигается заколачиванием между стержнями в лобовой части, почти около хомутиков, прессшпановых полос такой длины, чтобы изоляция бандажа полностью их закрывала. После намотки роторы подвергаются испытанию на корпус и на правильность соединения. В зависимости от напряжения E на роторе при разомкнутых фазах и неподвижном роторе напряжение при испытании на корпус дается после намотки ротора. Производственное испытание $(2E + 1800)$ V и минимум—2000 V.

При первом испытании в пробном отделении собранной готовой машины $(2E + 1300)$ V, минимальное—1500 V. При окончательном испытании машины ротору дается пробой напряжением $(2E + 1000)$ V по нормам IX ВЭС.

Если ротор выдержал пробой, нужно проверить через лампу или генератором высокой частоты правильность соединений и отсутствие виткового короткого замыкания, и только после этого можно приступить к пайке и последующей бандажировке.

Пайка роторов.

Пайку роторов в случае однотипных небольших машин или при пропуске большого количества производят в оловянной ванне с газовым или, лучше, электрическим подогревом. Между прочим укажем, что в случае осуществления электрического подогрева необходимо использовать принцип устройства индукционных печей, а не печей сопротивления, ибо очень трудно в последнем случае определить параметры ванны и очень скоро обмотки печи сгорают. Перед пайкой в ванне все хомутики необходимо промазать разведенным в бензине гарпиусом (канифоль).

Обычно же пайку хомутиков больших роторов приходится делать на газовых паяльниках. При пайке необходимо обратить внимание на то, чтобы по внутренней поверхности хомутик хорошо спаялся со стержнями. Загнанный медный клин между стержнями и распирающий хомутик должен также хорошо припаяться со стержнями. Клин обязательно паять с торца. Хорошая пайка будет зависеть от температуры прогрева всего хомутика; паяльник нужно держать

до тех пор, пока олово начнет плавиться, если водить олово по стороне хомутика, к которой не прилегает паяльник.

Олово должно „играть" на паяльнике и на хомутике, что достигается хорошим прогревом и посыпкой для очистки пайки толченой канифолью. Паять надо с той стороны ротора, чтобы паяльник по отношению нижних стержней стоял таким образом, что расплавленное олово, стекающее с паяльника, не затекало в паз, а спадало вниз в специальную банку.

У роторов напряжением свыше 300 V хомутики изолируются эксцельсиором и лентой. До 300 V хомутики не изолируются вовсе или только одной лентой в зависимости от расстояния между хомутиком.

Бандажировка роторов.

Обмотка ротора при вращении ротора будет под влиянием центробежной силы стремиться радиально расширяться. Так как у нас стержень положен в полузакрытом пазу, то он имеет возможность при расширении только изгибаться около края железа, приподнимаясь кверху хомутиком. При этом обмотка ротора сдерет изоляцию лобовых частей обмотки статора, и получится полное короткое замыкание. Поэтому обмотку ротора нужно прочно закрепить на определенной окружности бандажом. Усилия будут тем больше, чем больше число оборотов машины и длиннее лобовая часть обмотки. В зависимости от этих условий ставят однослойный, двухслойный и многослойный бандаж. На рис. 72 представлен полный вид передней стороны ротора, где виден двухслойный бандаж и его положение. Намотка бандажа производится под натягом. Этот натяг будет зависеть от положения лобовых частей обмотки (шайба или обмоткодержатель), от сечения меди и ее качества. Нужно в особенности в случае шайбы (750 об/мин) вместо обмоткодержателя дать максимальный натяг на первых трех-четырех витках с дальнейшим его уменьшением, что достигается освобождением тормоза барабана с бандажной проволокой.

После намотки бандаж пропаивается оловом. Бандаж должен быть хорошо заизолирован от обмотки прессшпаном или гибким миканитом. По окружности бандаж должен иметь скобочки, показанные на чертеже. Двухслойные и многослойные бандажи кладутся следующим порядком. Наматывается первый слой, пропаивается. Витки проволоки должны плотно прилегать один к другому. После этого, не изменяя почти натяга (чуть меньше), наматываем второй слой

и снова пропаиваем. Если двухслойный бандаж, то пропайкой и заделкой концов заканчиваем бандажировку, если многослойный, то наматываем остальные слои. Когда требуется иметь широкий многослойный бандаж, то в асинхронных двигателях лучше брать их секционированными из антимагнитной стальной проволоки с целью уменьшения нагревания бандажа от магнитного поля. Иногда перегрев

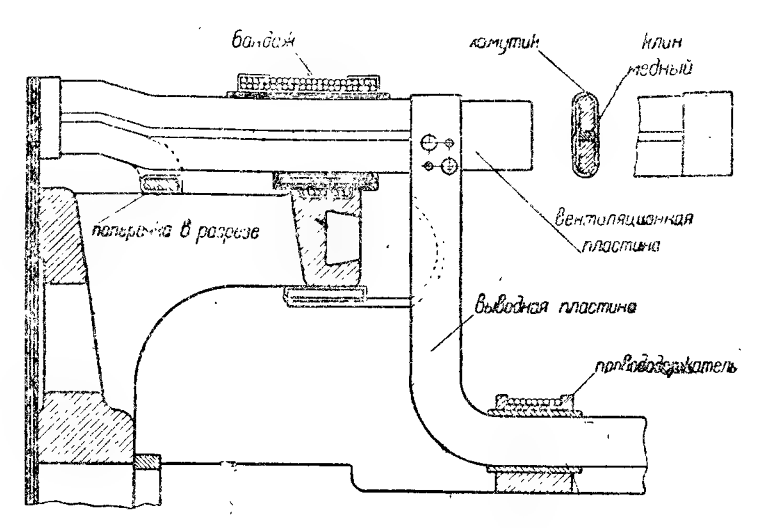


Рис. 72. Передняя сторона ротора на 1500 об/мин.

бандажа во время работы двигателя является причиной выхода из строя машины. После пайки и бандажировки ротор тщательно нужно продуть, очистить от олова и подвергнуть испытанию на корпус и витковое. Пробивное напряжение на корпус на 1% меньше указанного на стр. 61 производственного напряжения.

Этим заканчивается намотка ротора и его бандажировка. Последняя операция ротора — усиленная сушка и пропитка, что рассмотрено было раньше.

к) Сборка двигателей.

Последней операцией при изготовлении машины является сборка. Нужно различать: частичную сборку комплектных деталей, полную сборку комплектных деталей и сборку всей ма-

шины, всего двигателя. При сборке асинхронных двигателей должны быть рассмотрены следующие основные операции:

a) выверка воздушного зазора,

b) пригонка (шабровка) втулок подшипниковых щитов и их установка,

c) установка и регулировка подъемного механизма щеток контактных колец.

Этим основным операциям собственно сборки предшествуют следующие подготовительные операции:

a) насадка контактных колец и вентилятора на ротор,

b) балансировка ротора,

c) установка статорного зажима, очистка железа статора от лака и т. п.,

d) обрубка и сборка подшипниковых щитов.

Конечно деление на указанные основные и вспомогательные операции чисто условно и зависит полностью от организации всей сборки машины и от организации всего технологического процесса.

Нужно различать два метода сборки: сборка индивидуальная, единичная, или бригадная, и поточная сборка.

Индивидуальная, или бригадная, сборка характеризуется тем, что в данном случае все сборочные работы поручаются одному лицу или бригаде в зависимости от ее сложности и продолжительности. В этом случае бригада, получая основные детали, в процессе сборки докомплектовывает машину остальными частями. Но особеннно важно отметить, что при таком способе организации сборки рабочий, в большинстве случаев квалифицированный, выполняет работы и низкого и высокого разрядов. Нормирование правильно поставлено быть не может. Кроме этого необходимость выполнять одному или нескольким рабочим целый ряд разнообразнейших операций требует большого количества всевозможных инструментов и т. п.

Вследствие этого производительность труда низкая, и потери рабочего времени значительны. Такой метод работы применяется теперь еще в больших масштабах при индивидуальном произвoдстве и особенно в крупном машиностроении. Траспортными средствами являются в большинстве случаев мостовые краны и настенные краны с ручными лебедками.

Поточная сборка может осуществляться различными путями, но при этом основным характеризующим моментом будет широкая диференциация (расчленение) работ

на операции или, иначе говоря, применение диференцированного труда. В этом случае возможно правильное техническое нормирование, применение специального инструмента, приспособлений и т. п. Сама сборка осуществляется при этом следующими двумя путями:

a) Детали или машины, подлежащие сборке, остаются неподвижными, и, соответственно принятым операциям, рабочий переходит последовательно от одной детали или машины к другой.

b) Рабочий не меняет своего положения, выполняя определенные одну или несколько операций, а деталь или машина периодически движется с определенной скоростью мимо рабочего.

В совершенных производствах, достигших высшей ступени рационализации, распространена поточная сборка по второму способу, причем передвижение деталей и машин осуществляется различными способами: ленточные транспортеры, движущиеся столы и т. п.

В среднем и крупном электромашиностроении в настоящее время еще преобладает индивидуальная бригадная система сборки с очень слабым применением диференцированного труда. И только в мелком (60—100 kW) существуют комбинации поточной сборки.

Сборка двигателей типа 246 осуществляется по бригадной системе с применением диференцированного труда. Но сборка деталей и машин при этом идет небольшими повторяющимися сериями (3—5 машин бригаде). Из общей сборки выделены следующие операции, которые соответственно разбиты по небольшим бригадам (3—4 человека):

Первая бригада.

a) Насадка контактных колец и вентиляторов.
b) Балансировка роторов.
c) Насадка муфт и шкивов.

Вторая бригада. Обрубка щитов и отделка их (установка дверец, закрытие букс щитов и т. д.).

Третья бригада.

a) Очистка ротора.
b) Пригонка втулок.
c) Свинчивание машин.
d) Выверка воздушного зазора.
e) Установка втулок (установка подшипников).
f) Установка щеток и подъемного механизма.

Четвертая бригада. Грунтовка, шпаклевка и окраска машин.

Бригады при этом составлены так, что низкоразрядные работы выполняются рабочими соответствующей квалификации.

Не вдаваясь в подробности преимуществ, средств и т. п. индивидуальной и поточной сборки, перейдем к рассмотрению отдельных операций, предварительно остановившись на одном важнейшем вопросе сборки машин — взаимозаменяемости деталей. Кратко о значении и понятии взаимозаменяемости мы говорили выше, здесь же укажем, что практически получено при принятых методах обработки. Механическая обработка и контроль деталей осуществляются по отдельным заказам, за исключением некоторых, которые изготовляются по особым заказам. Но в виду абсолютного большинства одинаковых деталей и одних и тех же установившихся методов обработки детали получаются с одними и теми же размерами и допусками. В силу этих причин подгонка деталей сведена почти на-нет, и при сборке машин не обращается никакого внимания на заказ, по которому была изготовлена деталь. Но необходимо указать, что электрические машины, и в частности асинхронные двигатели, имеют по сравнению с другими машинами некоторые особенности, которые сужают взаимозаменяемость по некоторым деталям.

Насадка контактных колец и вентиляторов.

Контактные бронзовые кольца собираются на изолированную чугунную буксу и стягиваются болтами. Отдельное кольцо имеет контактный болт, к которому оно присоединяется посредством выводных пластин к обмотке ротора.

Размеры всех контактных колец двигателей типа 246 одинаковы. Внутренняя расточка буксы одинакова и равна 105 *мм*. Насадка — напряженная, осуществляемая при следующих практических допусках: для вала при номинальном диаметре 105 *мм* допуск + 0,026, + 0,003; для буксы допуски + 0,035, — 0,0.

Насадка производится упором специальной оправки в буксу и ударами кувалдой. Букса сидит на шпонке. Шпонка пригоняется по валу. При механической обработке, напомним, вал проверяется предельными скобами, а букса — предельным штихмассом (рис. 73).

Посадка вентилятора — напряженная (по ОСТу). Номинальный размер вала 125 *мм*, допуск + 0,030, + 0,004; буксы

вентилятора + 0,040, — 0.0. Как правило, выводы от ротора к контактным кольцам должны быть заизолированы эксцельсиором и лентой вне зависимости от напряжения на роторе. Выводы ротора опираются и крепятся бандажом на деревянном, пропитанном в олифе прододержателе. Место входа пластины вывода в разрез прододержателя должно быть

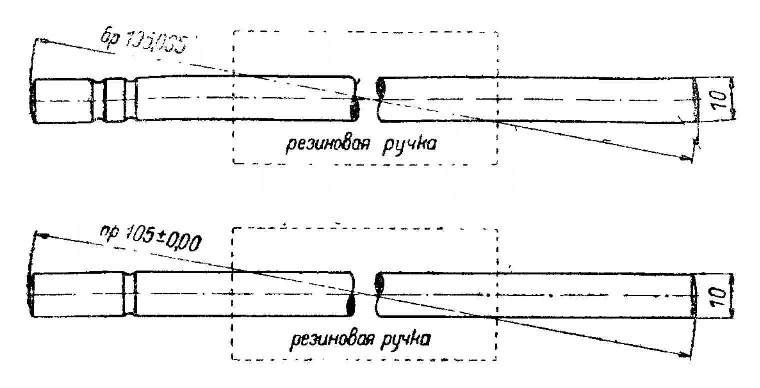


Рис. 73. Предельный штихмасс.

проложено гибким миканитом, в противном случае при отсырении или при появлении трещины в прододержателе здесь будет замыкание фазы ротора на корпус.

Выводные пластины должны быть тщательно пропаяны.

Балансировка роторов.

Под балансировкой роторов подразумевается уравновешивание неравномерно распределенных по окружности ротора масс (весов). Не касаясь глубоко теории балансировки, укажем, что если придать колебательное или вращающееся движение неуравновешениому телу, то таковое каждый раз при затухании колебаний (при прекращении движения) будет останавливаться в одном и том же положении. Это и используется практически при балансировке роторов. Неравномерность же распределения масс на роторе объясняется неравномерностью в литье, распределением обмотки особенно в лобовых частях и т. п.

Различаются два способа балансировки: a) статическая балансировка и b) динамическая балансировка.

Статическая балансировка заключается в следующем:

Ротор кладется на два „ножа“ (точно обработанные параллельные плоскости). Ротору от руки придается движение. Он, вращаясь, катится по „ножам“ в одну сторону; останавливается, затем обратное движение вперед, затем снова назад и т. д. до тех пор, пока сам не остановится в определенном положении. Это положение отмечается. Снова придается движение, и если ротор при вторичном вращении останавливается в другом положении, далеком от первого, то нужно считать равномерность распределения масс по окружности, а также уравновешенность всего ротора достигнутыми.

Статическая балансировка дает хорошие результаты для двигателей до 750 об/мин включительно и большинства двигателей до 1000 об/мин. При более высоких оборотах приходится прибегать к динамической балансировке.

Динамическая балансировка дает возможность машине на 1500 об/мин, 3000 об/мин и выше так точно отбалансировать их роторы, что фактически имеющаяся неравномерность в распределении масс не сказывается на работе машины. При динамической балансировке используется явление резонанса колебаний. В виду сложности теоретических положений динамической балансировки не будем их затрагивать в предлагаемой книге. Укажем на одно важное обстоятельство, которое необходимо помнить при балансировке и последующих операциях. Отбалансированный ротор не должен подвергаться абсолютно никаким изменениям в распределении масс после балансировки. Грузы помещаются в специальные каналы, сделанные в обмоткодержателях. Последствием неправильной балансировки будет дрожание машины.

Выверка зазора.

Не разбирая других сборочных операций, рассмотрим самую важную операцию сборки — выверку зазора. В асинхронном двигателе, каковыми являются двигатели типа PRV 246, величина воздушного зазора колеблется в небольших пределах. Воздушный зазор максимально равен 1,3 *мм*, для двигателя 1500 об/мин. Требуется абсолютная равномерность воздушного зазора по окружности и кроме того сохранение величины его в предписанных пределах. Предписанная величина воздушного зазора достигается точной механической обработкой расточки статора и обточки ротора. Расточка статора проверяется предельными

штихмассами и обточки ротора — предельными скобами с правильно выбранными допусками. Но обычно отклонения в величине зазора при правильно поставленной механической обработке не имеется. Зазор должен быть равномерен, следовательно необходимо выявить причины, влияющие или, вернее, создающие эксцентричность зазора. Первой и основной причиной эксцентричности воздушного зазора является эксцентричность в расточке под замок в корпусе статора и эксцентричность обработки замка подшипниковых щитов по отношению к расточке буксы щитов. Из общего вида (разреза) двигателя типа PRV 246 понятно, как крепятся и центруются щиты к корпусу и каково положение втулок. Эксцентричность в корпусе может быть только по двум причинам: неточность станка и изменение корпуса после обработки, на чем мы останавливались выше. Первое обеспечивается качеством установленного станка и тем, что методы и контроль при обработке безусловно правильны. Работа на неизменных загочках на крестовине—испытанный и верный способ. Контрольный инструмент — предельный (предельные скобы и штихмасс). Уничтожение эксцентричности замка щита и расточки буксы достигнуто тем, что расточка буксы производится на токарном станке при таком способе крепления щита на планшайбе станка, который дает неизменное и устойчивое положение щиту во время обработки и притом центрирует по замку. Втулки подшипниковых щитов, имея плотную посадку в буксу щитов, обеспечивают отсутствие качки втулки. Втулки на вал пригоняются шабровкой по валу, что также обеспечивает и правильную работу подшипника во избежание нагревания и кроме того необходимый зазор между валом и втулкой. Все вместе взятое обеспечило почти у всех машин правильный по величине и равномерный по окружности зазор. Понятно, что только при этих условиях возможно избежать допиловки замка щита, и если это иногда имеет место (что очень редко), то только или благодаря отступлению при контроле (брак), или вследствие изменений в металле корпуса и щитов. При этих условиях выверка зазора сводится по существу к тому, чтобы посадить плотно щиты в замок и придвинуть равномерно к фланцу корпуса. Легкие удары свинцовой кувалдой по бокам щитов обеспечивают это „сцепление“ щита с корпусом. Таким путем достигается практически взаимозаменяемость большинства деталей. Но в электрических машинах одного типа при одной и той же мощности

и оборотах может быть различное напряжение, что обусловливает намотку статора и ротора по электрическим данным и соответственно этому ограничивает возможность взаимозаменяемости этих деталей.

Установка втулок (подшипниковых).

К сожалению, благодаря несовершенству методов сборки железа статора и ротора, несовершенству главным образом приспособлений, применяемых на железосборке, имеется следующий большой недостаток в установке втулок или, как принято говорить, подшипников при работе машины. После сборки и выверки зазора двигатель без щеток посылается в пробное отделение на предварительную проверку (первое испытание), целью которой является при рабочем напряжении машины установить втулки для того, чтобы машина имела нормальный (2—3 *мм*) разбег (свободное перемещение в осевом направлении ротора). После установки возможно только засверлить и застопорить втулки. И это приводит к тому, что щит с испытанной машины может не подойти к любой такой же

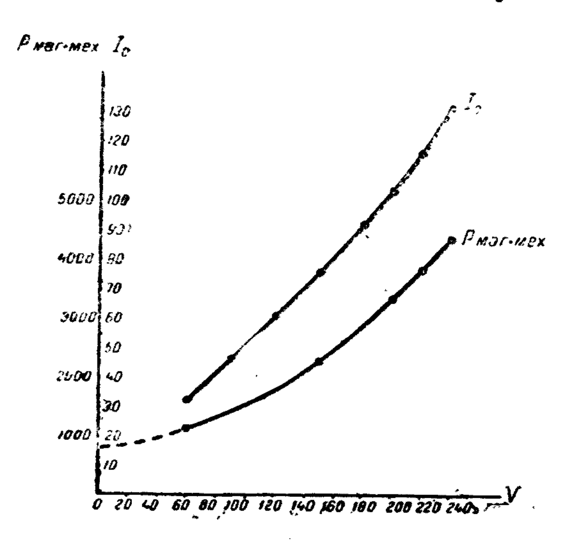


Рис. 74. Кривая характеристики холостого хода двигателя с деревянными клиньями.

тина машине без вторичиой засверловки втулок. Поэтому мы и оговаривались относительно взаимозаменяемости. Заранее неизвестное положение ротора приводит далее к тому, что сразу установить подъемный механизм невозможно, его приходится устанавливать после первого испытания. Вот те основные вопросы сборки двигателей типа 246, которые

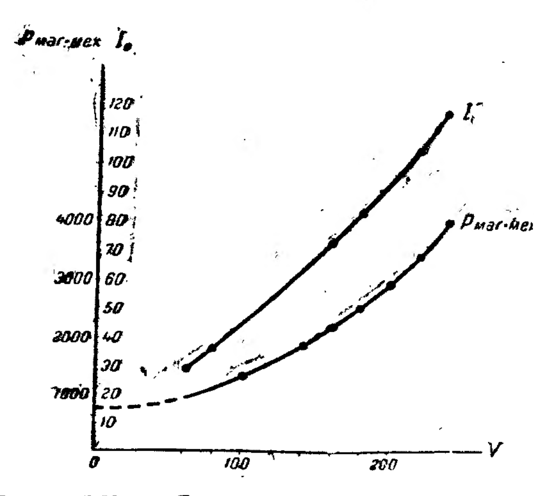


Рис. 75. Кривая характеристики холостого хода двигателя с магнитными клиньями.

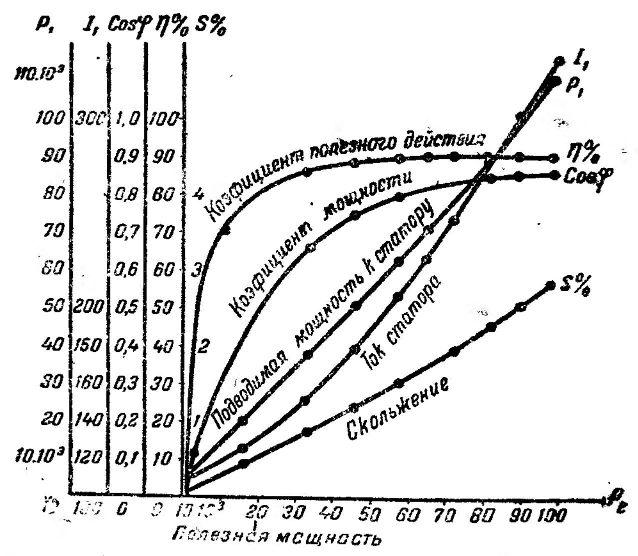


Рис. 76. Характеристики двигателя с деревянными клиньями под нагрузкой.

представляют интерес с точки зрения изучения крупносерийного производства средних электрических машин. В заключение приводим данные испытания двигателя типа PRY 2461 — 750, 220/380,90 kW в электротехнической лаборатории (ОБИСа) завода.

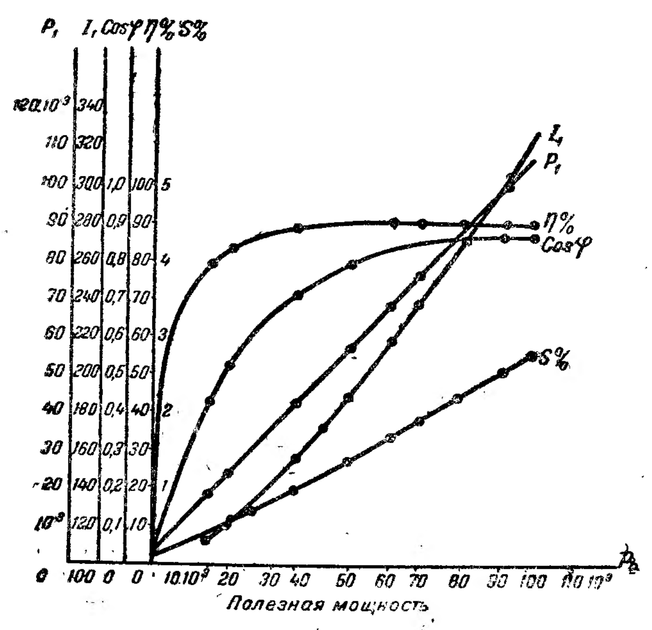


Рис. 77. Характеристики двигателя с магнитными клиньями под нагрузкой.

Данные получены из опыта холостого хода, короткого замыкания и непосредственной нагрузки двигателя, причем испытание произведено с деревянными и магнитными статорными клиньями.

Результаты испытания представлены в виде кривых (рис. 74, 75, 76, 77).

Литература.

Б. Rummel. Die Asynchronmotoren und ihre Berechnung
В. А. Толвинский. Электрические машины постоянного тока.
К. А. Круг. Бесколлекторные асинхронные двигатели.
М. Н. Левицкий. Электрификация промышленных предприятий.
AEG. Hilfsbuch für elektrische Licht und Kraftanlagen.
В. С. Коц. Техический отчет (завод „Электросила“).

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Инд. ЭЭ-20-3-3

Сдано в набор 22 ноября 1932 г.
Поступило к печати 28 декабря 1932 г.
Формат бумаги 79 × 109.
Количество печатных листов $8^1/_4$.
Количество печ. знаков в листе 40424.
Инд. ЭЭ-20-3-3.
Ленгорлит № 64981.

[redacted] Д. Д. Сквор
Технический [redacted] Б. Рабино

Энергоиздат № 701/Л.
Заказ № 1591.
Тираж 4

4-я типография ОНТИ НКТП СССР „Красный Печатник", Ленинград, Международный